

SULFAATTISELLUTEHTAAN JÄTEVESIEN  
KEMIALLINEN PUHDISTUS

Diplomityö n:o 334 Helsingin Teknillisen  
korkeakoulun Puunjalostusosastolla

Tämän diplomityön kokeellinen osa on tehty Enso-Gutzeit Osakeyhtiön Tainionkosken tehtailla vuoden 1971 tammi-kesäkuussa. Työtä valvoi yhtiön puolesta dipl.ins. Liva Vuorilehto. Diplomityön valvoja oli tekn.lis. Kauko Nevalainen ja ohjaaja tekn.lis. Hannu Nilsen. Heille sekä kaikille muille työn edistymiseen vaikuttaneille henkilöille esitän parhaat kiitokseni.

Otaniemessä 17 päivänä marraskuuta 1971

Seppo Penttilä

Seppo Penttilä



## TIIVISTELMÄ

Diplomityön kirjallisuusosassa on aluksi käsitelty lyhyesti sulfaattisellutehtaan jätevesien koostumusta, niiden sisältämän kiintoaineen ja liuenneen aineen sekä värin alkuperää. Jätevesimääristä ja kuormituksista (kiintoaines, liennut aines ja biologinen hapentarve) on esitetty numeroarvoja puunjalostusteollisuuden eri tuotannonhaarojen osalta. Lisäksi on tarkasteltu tulevaisuudennäkymiä puunjalostusteollisuuden aiheuttaman jätevesikuormituksen osalta sekä esitelty eräitä vesiviranomaisten ehdottamia enimmäiskuormitusarvoja ja puhdistusohjelmia.

Kirjallisuudessa esiintyneitä sulfaattisellutehtaan jätevesien kemiallista puhdistusta koskevia tutkimuksia on tarkasteltu. Toteutetuista puhdistuslaitoksista on esitelty Ruotsissa olevan Vaggerydin tehtaan ja erään Baikaljärven rannalla olevan tehtaan käyttämät menetelmät sekä kalkkisaostusmenetelmät, joita on käytössä eräissä Yhdysvaltain tehtaissa.

Diplomityön kokeellisessa osassa on tutkittu laboratorio- ja pilot-plant -mittakaavassa Enso-Gutzeit Osakeyhtiön Tainionkosken sulfaattisellutehtaan eräiden jätevesijakeiden kemiallista puhdistusta. Tutkitut jakeet olivat: suodattettu lajittamon nollavesi, valkaisimon alkalivaiheen nollavesi, mekaaniselle vaakaselkeyttimelle tuleva kartonkitehtaan jätevesi, vaakaselkeyttimen ylijuoksu sekä kuorimon

jätevesi. Primäärisinä flokkauskemikaaleina käytettiin alunaa, ferrikloridia ja kalkkia sekä flokkausapuaineena Flockningslim-nimistä eläinliimaa. Koetuloksista voidaan päätellä, että jätevesien puhdistumisaste on samaa luokkaa kuin mitä kirjallisuudessa on esitetty. Biologisen hapentarpeen poistuma on melko hyvä, 40 - 60 % ja värin vähenemä värillisillä jätevesijakeilla 65 - 80 %. Koepystyselkeytimellä saavutetut kuormitusarvot olivat flokkausapuaineen käytöstä huolimatta melko pieniä.

# SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
I JOHDANTO	1
II KIRJALLISUUSOSA	4
1. SULFAATTISELLUTEHTAAN JÄTEVEDET	4
1.1. Jätevesien koostumus	4
1.1.1. Kiintoainne	4
1.1.2. Liennut aine	5
1.1.3. Väri	6
1.2. Jätevesimäärät ja kuormitukset	7
1.3. Odotettavissa olevat muutokset jätevesi- määrissä ja kuormituksissa sekä eräitä näille ehdotettuja enimmäisarvoja	9
2. KEMIALLISEN PUHDISTUKSEN TOIMINTAMEKANISMI	12 <i>enik. 45</i>
3. ERÄITÄ KEMIALLISTA PUHDISTUSTA KOSKEVIA TUTKIMUKSIA	15
3.1. Yleistä	15
3.2. Kuorimojätevesi	16
3.3. Valkaisimon kloorivaiheen jätevesi	19
3.4. Valkaisimon alkalivaiheen jätevesi	21
3.5. Sulfaattisellutehtaan jätevedet	23
3.6. Muita	25
3.7. Yhteenveto puhdistuskokeista	26
4. TOTEUTETUT PUHDISTUSMENETELMÄT	28
4.1. Vaggeryd	28 <i>kyrs</i>
4.2. Baikal	30
4.3. Kalkkisaostusmenetelmät	32

	Sivu
4.3.1. Massive lime	32
4.3.2. Woodland ja Hodge	34
4.3.3. Riceboro	36
4.4. Japanilainen menetelmä	37
4.5. Yhteenvedo toteutetuista laitoksista	38
III KOKEELLINEN OSA	40
5. TEHDASESITTELY	40
5.1. Tuotantoprosessi lähinnä vesitalouden kannalta tarkasteltuna	40
5.1.1. Yleistä	40
5.1.2. Puunkäsittely	41
5.1.3. Keittäminen ja pesemä	42
5.1.4. Lajittamo	43
5.1.5. Valkaisimo ja kuivatuskoneet	44
5.1.6. Haihduttamo, soodakattila ja kaustistamo	45
5.1.7. Kartonkitehdas	47
5.2. Vedenkäsittely	50
5.2.1. Raakavesi	50
5.2.2. Jätevesi	52
5.3. Vesimäärät ja kuormitukset	54
5.3.1. Raakavesi	54
5.3.2. Jätevesi	55
6. KOKEIDEN SUORITUS	58
6.1. Tutkittavien vesijakeiden valinta	58
6.2. Koelaitteisto ja kokeiden suoritustapa	61
6.2.1. Koepystyselkeytin	61
6.2.2. Selkeytyskokeiden suoritus	65
6.2.3. Laboratorioselkeytyskokeiden suoritus	67

*hyvä*

*huom  
pillerit*

*hyvä*



	Sivu
6.2.4. Analyysit ja mittaukset	68
6.2.5. Käytetyt kemikaalit	75
7. TULOKSET KOKEIDEN SUORITUSJÄRJESTYKSESSÄ	76
7.1. Lajittamon nollavesi	76
7.2. Valkaisimon alkalivaiheen nollavesi	86
7.3. Vaakaselkeyttimen ylijuuksu	95
7.4. Vaakaselkeyttimelle tuleva vesi	100
7.5. Kuorimon jätevesi	105
8. TULOSTEN TARKASTELU	110
8.1. Lajittamon nollavesi	110
8.2. Valkaisimon alkalivaiheen nollavesi	111
8.3. Vaakaselkeyttimen ylijuuksu	112
8.4. Vaakaselkeyttimelle tuleva vesi	112
8.5. Kuorimon jätevesi	112
9. LOPPUTARKASTELU	114
IV KIRJALLISUUS	117
LIITTEET	
Liite 1	Saimaan vesistö Tainionkosken tehtaitten edustalla.
Liite 2	Tainionkosken tehtaitten viemäröintikaavio.
Liite 3	Sankey-diagrammi jätevesivirtauksista.
Liite 4	Koepystyselkeyttimen rakenne- ja virtauskaavio.
Liite 5	Valokuvia laboratorionkokeista: pH:n vaikutus
Liite 6	Valokuvia laboratorionkokeista: kemikaaliannoksen vaikutus
Liite 7	Valokuvia laboratorionkokeista: flokkausapu- aineen vaikutus.



Liite 8 Selkeytyskokeet Vargö-vedellä.

Liite 9 Selkeytyskokeet valkaisimon alkalivaiheen  
nollavedellä.

Liite 10 Selkeytyskokeet vaakaselkeyttimen ylijuksu-  
vedellä.

Liite 11 Selkeytyskokeet vaakaselkeyttimelle tulevalla  
vedellä.

Liite 12 Selkeytyskokeet kuorimon kuorisuodinaltaan  
vedellä.

*harkitus  
selitys*

## I JOHDANTO

Maamme metsävaltaisuus on tehnyt puunjalostusteollisuudesta Suomen valtateollisuuden. Kemiallisten puunjalostusprosessin luonteeseen kuuluu runsas vedenkäyttö ja suurten jätevesimäärien syntyminen. Suomessa on vesipinta-alaa runsaasti, mutta järvivaltaisuus, järvien mataluudesta johtuva vähäinen vesitilavuus, talvinen jääpeite ja vesien humuspitoisuus rajoittavat vesistöjen puhdistautumiskykyä. Puunjalostusteollisuus vastaa noin  $3/4$  teollisuuden ja asutuksen tuottamasta jätevesimäärästä, joten päähuomio vesien suojelussa kohdistuu tälle sektorille.

Vesistöön joutuvaa jäteainetta voidaan vähentää sekä prosessiteknisin toimenpitein että jätevesien puhdistuksella. Vesien kierrätyksellä prosessissa saadaan jätevesimäärät pienemmiksi ja pitoisuudet suuremmiksi, jolloin puhdistuksen toteuttaminen on yleensä helpompaa. Kierrätysastetta ei voi kuitenkaan nostaa rajattomasti, sillä kiertovesien sisältämien komponenttien rikastuminen voi aiheuttaa prosessissa häiriöitä, esim. vaahtoamista, korroosiota ja tukkeutumia. Lisäksi kierrätyksessä veden lämpötila kohoaa, mikä saattaa edistää haitallisten mikro-organismien kasvua. Muista prosessiteknisistä toimenpiteistä mainittakoon sulfiittisellutehtaiden jäteliemen väkevöinti ja poltto, mikä on toteutettu Suomessa lähes kaikissa tehtaissa. Selun pesua tehostamalla saadaan jäteliemi tarkemmin talteen, jolloin lajittamojätevesien sisältämät epäpuhtausmäärät vähenevät. Valkaisimon aiheuttaman jätevesikuorman

pienentämisessä voi ratkaiseva asema tulevaisuudessa olla happivalkaisulla, jolla voidaan korvata kloori- ja alkali- vaiheet ja jonka jätevesi voidaan väkevöidä ja polttaa.

Jätevesien puhdistuksessa on ensimmäisenä toimenpiteenä erillisviemäröinnin toteuttaminen, jolloin kukin jätevesi- jae voidaan puhdistaa asianmukaisesti, ja puhtaat jäähdytys- ym. vedet voidaan johtaa käsittelemättöminä vesistöön.

Mekaaninen jätevesien puhdistus on toteutettu Suomessa 25 tehtaassa. Puhdistuslaitoksissa käsitellään runsas kolmas- osa koko puunjalostusteollisuuden jätevesimäärästä (ORI- VUORI et. al 1969). Puhdistamoista kolme on suodatinlai- toksia ja 22 laskeutusaltaita. Valtaosa näistä on maapoh- jaisia, joiden toimintatehoa on vaikea pitää korkeana ja joiden lietteenkäsittely on kallista. Altaista seitsemän on rakennettu pelkästään kuorimovesiä varten. Edellä esi- tetyissä luvuissa eivät ole mukana tehtaiden sisäiset puh- distuslaitokset, esim. paperi- ja kartonkitehtaiden kierto- vesiylijuoksua, kuorimovesiä ja sellutehtaiden jäte- ja kiertovesiä varten rakennetut mekaaniset puhdistuslaitokset.

Korkeampiasteista jätevesien puhdistusta on Suomessa toteu- tettu toistaiseksi vähän. Eräisiin uusimpiin tehtaisiin on rakennettu jätevesien viipymäaltaita, joiden tilavuus vastaa 4 - 14 vrk:n jätevesimäärää (NOUKKA 1970). Niissä tapahtuva biologisen hapentarpeen vähenemä on muutama kymme- nen prosenttia. Talvikuukausina ei puhdistumista juuri tapahdu alhaisen lämpötilan ja jääpeitteen vuoksi.



Muunlaista biologista käsittelyä ei puunjalostusteollisuuden jätevesille Suomessa suoriteta.

Muutamissa sulfaattisellutehtaissa eri puolilla maailmaa jätevedet puhdistetaan kemiallisesti lähinnä biologisen hapentarpeen ja värin vähentämiseksi. Suomen puunjalostusteollisuudessa ei toistaiseksi ole toteutettu tällaista puhdistusta.

Seuraavassa esityksessä käytetään lyhennettä BHT (biologinen hapentarve) yleisemmin käytetyn BHK:n (biologinen hapenkulutus) asemesta. Edellinen on oikeampi käännös vastaavista vieraskielisistä termeistä (engl. biological oxygen demand, saks. biochemischer Sauerstoffbedarf). Kiintoainepitoisuudesta käytetään lyhennettä KAP,  $\text{KMnO}_4$ -kulutus merkitään myös  $\text{KMnO}_4$ , ja zetapotentialista käytetään lyhennettä ZP.  $\text{KMnO}_4$  tarkoittaa permanganaattitarvetta ja KHT (kemiallinen hapentarve) happena ilmaistua tarvetta.

## II KIRJALLISUUSOSA

### 1. SULFAATTISELLUTEHTAAN JÄTEVEDET

#### 1.1. Jätevesien koostumus

##### 1.1.1. Kiintoaines

Sulfaattisellutehtaan jätevesien kiintoaines koostuu ki-  
duista, kuorenkappaleista ja keittokemikaalin valmistuk-  
sessa syntyneistä epäorgaanisista lietteistä. Kiintoaines-  
määrä vaihtelee välillä 35 - 50 kg/ts. Mekaanisella puhdis-  
tuksella tämä voidaan pienentää alueelle 7 - 15 kg/ts  
(NOUKKA 1970).

Jätevedessä oleva kiintoaines aiheuttaa purkuvesistössä  
veden samentumista sekä hitaasti virtaavissa paikoissa poh-  
jan liettymistä ja madaltumista. Kemiallisesti ja biologi-  
sesti kiintoaines on varsin pysyvää. Haittavaikutukset ovat  
lähinnä fysikaalisia ja mekaanisia. Veden samentuessa pe-  
rustuotanto heikkenee, kalaston arvo alenee ja saalis vä-  
henee, pyydykset likaantuvat ja vedenhankinnalle aiheutuu  
haittoja. Pohjaan painunut kuituaines tuhoaa pohjakasvil-  
lisuutta ja kalojen kutualueita. Kuitukerroksissa tapahtuu  
kiinteän aineen hidasta anaerobista ja myös happea kulutta-  
vaa hajoamista. Veden kiintoainepitoisuuden 50 mg/l on  
todettu hidastavankalojen kasvua (LAASONEN 1971).



### 1.1.2. Liuennut aines

Jätevesien liuennut aines on peräisin pääasiassa pesussa menetetystä mustalipeästä, tärpätti-, pusku- ja haihdelahteista sekä valkaisimojätevesistä. Mustalipeän  $BHT_5$ -arvo on 350 - 400 kg/ts. Kun mustalipeän talteenottoaste on esimerkiksi 95 %, pesuhäviöiden aiheuttama  $BHT_5$ -kuormitus on 18 - 20 kg/ts. Tärpätti-, pusku- ja haihdelahteet sisältävät mm. erilaisia haihtuvia, pahanhajuisia ja myrkyllisiä yhdisteitä, kuten rikkivety, metyyliimerkaptaani ja dimetyylisulfidi. Lauhteiden  $BHT_5$ -arvo vaihtelee välillä 6 - 14 kg/ts. Valkaisimojätevesien aiheuttama  $BHT_5$ -kuormitus on luokkaa 12 - 18 kg/ts (NOUKKA 1970).

Liuennut orgaaninen aines muodostaa vedessä oleville eliölle energialähteen, jota ne käyttävät elintoimintojensa ylläpitämiseen kuluttaen samalla veteen liuennutta happea. Jätevedessä liuenneena olevat hiilihydraatit, orgaaniset hapot ja alkoholit, jotka ovat molekyylirakenteeltaan yksinkertaisia, hajoavat nopeasti. Ligniini ja sen suuri-molekyyliset hajoamistuotteet sen sijaan hapettuvat hitaasti. Biokemiallisesti hapettuvan aineen mittana käytetty analyysi ( $BHT_5$  eli biologinen hapentarve viiden vuorokauden kuluessa) kuvaa suhteellisen hyvin nopeasti hajoavien yhdisteiden happea kuluttavaa vaikutusta. Sen sijaan  $BHT_5$  ilmaisee huonosti koko liuenneen orgaanisen komponentin vaikutusta, sillä se on vain noin kolmasosa  $BHT_{100}$ :sta.

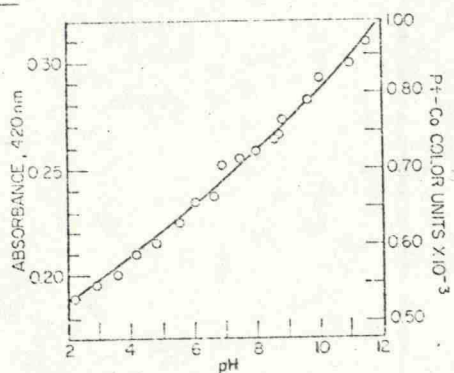
Lisäksi ligniinistä ja muista hitaasti hajoavista yhdisteistä on tämänkin jälkeen vielä puolet hajoamatta. Näin ollen BHT<sub>5</sub> vastaisi vain vajaata neljäsosaa liuenneen orgaanisen aineen aiheuttamasta hapen kokonaiskulutuksesta vesistössä (LAASONEN 1971).

Liuennut epäorgaaninen aines on peräisin pääasiassa selluloosatehtaan keittoliuoksen valmistuksesta. Veteen joutuu natriumsuoloja, yleensä sulfaattina, sekä happoja ja emäksiä. Nämä aiheuttavat muutoksia purkuvesistön pH:ssa, jolla voi olla haittavaikutuksia kasvi- ja eläinkantaan.

Liuennut kloori sekä merkaptaanit, sulfidit ja hartsihapot muodostavat oman ryhmänsä jätevesissä. Ne ovat biologiselle toiminnalle myrkyllisiä aineita.

### 1.1.3. Väri

N. 60 % sulfaattisellutehtaan jätevesien värikuormasta on peräisin valkaisimosta. Toinen suuri värikuormittaja on mustalipeäpitoinen lajittamon jätevesi. Värin aiheuttajia ovat ligniini ja sen hajoamistuotteet, ja sitä muodostavat rakenteet ovat pääasiassa aromaattisia ja kinoni-, karbo-nyyli- ja etyleeniryhmiä. Vapaat radikaalit ja raskasmetallikompleksit voivat myös olla värin aiheuttajia. Jäteveden väri riippuu pH:sta siten, että intensiteetti kasvaa pH:n



Kuva 1 Värin riippuvuus  
pH:sta (TEJERA et al. 1970)

noustessa. Tämä johtuu edellä mainittujen kromoforisten ryhmien pH-herkkyydestä (NCASI 1970). Valkaisimon alkalivaiheen jäteveden värin riippuvuus pH:sta ilmenee kuvasta 1.

Kuorimojätevesiin liukenee puusta mm. tanniineja. Nämä muodostavat raudan kanssa värillisiä yhdisteitä, jonka vuoksi kuorimojätevedet ovat värillisiä. Tästä myös johtuu, että ne tummuvat voimakkaasti rautasuoloilla tapahtuvassa kemiallisessa puhdistuksessa.

## 1.2. Jätevesimäärät ja kuormitukset

Suomen puunjalostusteollisuuden osuus teollisuuden ja asutuksen kokonaisjätevesimäärästä oli 73 % vuonna 1970 ja BHT-kuormitus 84 % teollisuuden ja asutuksen aiheuttamasta kuormituksesta. Puunjalostuksen aiheuttama typpikuormitus oli 25 % ja fosforikuormitus 22 % kokonaiskuormituksesta (UUTINEN 1971).

Sulfiitti- ja sulfaattisellu-, paperi-, kartonki- ja kuitulevytehtaiden sekä vientihiomoiden tuottamat jätevesimäärät



ja niiden aiheuttamat kuormitukset vuonna 1969 olivat taulukon 1 mukaisia (NEVALAINEN 1971).

Taulukko 1 Puunjalostusteollisuuden jätevesimäärät ja kuormitukset

	Tuotanto	Jätevesi		KAP		Liuenm. aines		BHT <sub>5</sub>	
	10 <sup>3</sup> t/v	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /v	%	10 <sup>3</sup> t/v	%	10 <sup>3</sup> t/v	%	10 <sup>3</sup> t/v	%
Sulfiitti	1 471	735	37	112	38	700	54	200	49
Sulfaatti	2 857	918	46	84	29	434	33	147	36
Paperi	2 363			63	22	88	7	31	8
Kartonki	791			27	9	56	4	16	4
Kuitulevy	263			7	2	18	2	11	3
Vientihiomot	42			0.4	0	0.4	0	0.1	0
Yhteensä	7 787	2 000	100	293	100	1 296	100	405	100

	Jätevesi	KAP	Liuenm. aines	BHT <sub>5</sub>
	m <sup>3</sup> /t	kg/t	kg/t	kg/t
Sulfiitti	500	77	476	136
Sulfaatti	333	30	152	52
Paperi		27	37	13
Kartonki		34	71	20
Kuitulevy		28	69	42
Vientihiomot		8	8	3
Keskimäärin	258	37	166	52

Sulfaattiselvitystehtaiden arvoihin sisältyvät myös niihin läheisesti integroitujen voimapaperi- ja kartonkitehtaitten aiheuttamat kuormitukset. Sulfaattiselvityksestä oli 48 % valkaistua.

- 1.3. Odotettavissa olevat muutokset jätevesimäärissä ja kuormituksissa sekä eräitä näille ehdotettuja enimmäisarvoja

Suomen Puunjalostusteollisuuden Keskusliiton vesiensuojelupoliittisessa ohjelmassa (ANON. 1970) esitetään puunjalostusteollisuuden jätevesimäärissä ja kuormituksissa tapahtuvasta kehityksestä seuraavaa:

- ominaisvedenkulutus laskee edelleen. ORIVUORI et al. (1969) mukaan on saavutettavissa taso n.  $190 \text{ m}^3/\text{t}$  tuotetta.
- kiintoainekuormitus saadaan pienennetyksi kuudenteen osaan nykyisestä.
- jätevesien liuenneitten aineitten aiheuttama biologinen hapentarve vähenee 1970-luvulla neljänneksellä.

NOUKKA (1970) esittää, että puunjalostusteollisuuden aiheuttama kiintoainekuormitus olisi tulevaisuudessa seuraava:

1970-luku	5 - 20 kg/t tuotetta
1980-luku	5 - 15 " "
1990-luku	5 - 10 " "

Sulfaattisellutehtaiden  $\text{BHT}_5$ -kuormitus alenisi arvoon 35 kg/ts 1970-luvulla ja arvoon 25 kg/ts 1980-luvulla. Näiden lukujen saavuttaminen edellyttää, että 1970-luvulla toteutettaisiin lähinnä prosessiteknillisiä toimenpiteitä ja sovellettaisiin mekaanista puhdistusta. 1980-luvulla tulisivat käyttöön biologinen ja kemiallinen puhdistus.



LAASONEN (1971) arvioi, että kiintoainekuormitus 5 kg/t saavutettaisiin n. vuonna 1980 ja BHT<sub>5</sub>-kuormitus 20 kg/t n. vuonna 2000.

Ruotsin vesiviranomaiset ovat viime aikoina yleensä vaatineet, että jätevesimäärät ja kuormitukset on saatava seuraavalle tasolle (VUORILEHTO 1970):

	Vedenkulutus	KAP	BHT <sub>7</sub>
Valkaisematon sulfaatti	100 m <sup>3</sup> /ts	1 kg/ts	12 kg/ts
Valkaistu sulfaatti	160 "	3 "	30 "

Vedenkulutuksessa ei ole otettu huomioon puhtaita jäähdytysym. vesiä. BHT<sub>7</sub>-kuormitus muodostuu siten, että pesusta ja lajittelusta tulee yhteensä 4 kg/ts ja lauhteista 8 kg/ts.

Etelä-Saimaan jätevesikomitea on käsitellyt mietinnössään (MIETINTÖ 1970) Oy Kaukas Ab:n Lappeenrannan sulfaattisellutehtaan ja Joutseno-Pulp Oy:n Joutsenon sulfaattisellutehtaan Saimaaseen kohdistamaa jätevesikuormitusta ja esittää eräitä toimenpiteitä tämän pienentämiseksi.

Vaihtoehdot ovat seuraavat:

1. Kaukaan tehtailla tehostetaan mekaanista puhdistusta kuorimolla, lisätään kiertoveden käyttöä ja maapohjaisen laskeutusaltaan lietteenpoisto pidetään riittävän tehokkaana. Joutsenon tehtailla jätevedet käsitellään nykyisellä tavalla. Kaukaan aiheuttama kiintoainekuormitus vähenisi arvosta 23 t/vrk tasolle 8 - 12 t/vrk.
2. Lisäksi molemmilla tehtailla toteutettaisiin prosessitekniillisiä toimenpiteitä, kuten

- pesun tehostaminen lisäpesureilla
- höyrystrippaus lauhdeiden käsittelyssä
- kuorimoveden kierrätys ja ylimenevän osan puhdistus.

BHT<sub>5</sub> pienenesi molemmilla tehtailla arvosta 40 kg/t arvoon 26 kg/t.

3. Edellisten lisäksi toteutetaan lajittamovesien kemiallinen puhdistus. BHT<sub>5</sub>-kuormitus vähenisi arvoon 20 kg/t. Kiintoainehäviö pienenesi arvoon 5 kg/t.
4. Toteutetaan biologinen puhdistus aktiivilietemenetelmällä ja lisäksi kohdan 1 toimenpiteet. BHT<sub>5</sub>-kuormitus vähenisi vuoden 1972 (johon mennessä tulee tapahtumaan eräitä tuotantomuutoksia) tasosta 53 kg/vrk tasoon 20 kg/vrk.

Komitea ehdottaa vaihtoehtojen toteuttamisaikatauluksi seuraavaa:

1. V. 1972 loppuun mennessä vaihtoehto 1, jolloin

BHT <sub>5</sub>	tulisi olemaan	53 t/vrk
P	" "	90 kg/vrk
kiintoaines	"	15 t/vrk
2. V. 1973 loppuun mennessä vaihtoehto 2, jolloin

BHT <sub>5</sub>	tulisi olemaan	36 t/vrk
P	" "	75 kg/vrk
3. V. 1976 loppuun mennessä vähintään vaihtoehto 3, jolloin

BHT <sub>5</sub>	tulisi olemaan	30 t/vrk
P	" "	55 kg/vrk
kiintoaines	"	5 t/vrk

## 2. KEMIALLLISEN PUHDISTUKSEN TOIMINTAMEKANISMI

Kemiallisella puhdistuksella voidaan poistaa käsiteltävässä vedessä olevaa kolloidista ainesta eli hiukkasia, joiden koko on luokkaa  $100 \text{ \AA} - 10 \mu$ . Kolloidihiukkasille on ominaista niiden pinnassa oleva sähköinen kaksoiskerros vastakkaismerkkisesti varattujen ionien adsorboituessa hiukkasen varattuun pintaan. Adsorboituneiden ionien ja nesteen välistä potentiaaliero kutsutaan zetapotentialiksi, joka on yleensä negatiivinen. Tämä aiheuttaa hiukkasten välille poistovoiman ja kolloidiliuoksen stabiiliuden. Kemiallisessa puhdistuksessa zetapotentialia pyritään pienentämään siten, että van der Waalsin vetovoimat pääsevät vaikuttamaan ja kolloidihiukkaset yhtymään. Tällöin tapahtuu koaguloituminen ja edelleen flokkautuminen hiukkasten kassautuessa näkyviksi flokeiksi. Kolloidiliuosten koaguloiminen voidaan suorittaa seuraavasti (ECKENFELDER 1970):

1. Lisätään vahvaa kationista elektrolyyttiä, esim. alunaa, joka pienentää zetapotentialia ja poistovoimia, jolloin hiukkaset pääsevät yhtymään.
2. Kationista elektrolyyttiä ja emästä lisättäessä muodostuu varattuja hydroksideja  $\text{Me}_x(\text{OH})_y^{z+}$ . Nämä adsorboituvat kolloidihiukkasten pintaan pienentäen zetapotentialia.
3. Lisättäessä kationista polyelektrolyyttiä, kolloidien pinta neutraloituu ja lisäksi polyelektrolyytti toimii sillanmuodostajana tehden flokit suuremmiksi ja kestävämmiksi mekaanista hajotusta vastaan.



4. Anionisia ja kationisia polyelektrolyyttejä voidaan käyttää yhdessä koaguloimiseen.
5. Anionisten ja neutraalien polyelektrolyyttien käyttö tehostaa sillanmuodostuksella hiukkasten agglomeroitumista.
6. Hiukkaset joutuvat muodostuvien metallihydroksidiflokkien sisään.

Aluminium- ja rautasuoloja käytettäessä perusmekanismi on metallihydroksidien muodostuminen (kohta 2) osan kolloidihiuksista tarttuessa muodostuneisiin hydroksidiflokkeihin (kohta 6). Koaguloitumisen tehokkuus on riippuvainen pH:sta, jonka on oltava parhaan tuloksen saavuttamiseksi lähellä suolan isoelektristä pistettä (esim. alunalla pH 5-7). Jos hydroksidien muodostumiseen tarvittavaa emäksisyyttä ei jätevedessä ole tarpeeksi, sitä on lisättävä NaOH:na,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ :na tai mieluummin bikarbonaatteina, jotka eivät kohota veden pH:ta.

Kun aluminium- tai rautasuolaa lisätään käsiteltävään veteen, muodostuu hydroksidi välittömästi, n. 0.1 sekunnissa. Hydroksidimolekyylit muodostavat polymeerejä, joiden ketjut ovat lineaarisia ja kooltaan n. 100 Å. Ne adsorboituvat välittömästi ensimmäiseen mahdolliseen kolloidihiukseseen peittäen tämän pinnan. Jos hydroksidin muodostumishetkellä kolloidihiuksia ei ole välittömässä läheisyydessä, hydroksidipolymeereistä muodostuu flokki. Tällaiseen flokkiin voi

jääää "loukkuun" kolloidishiukkasia (kohta 6), mutta tällaiseen muotoon muuttuneet hydroksidipolymeerit eivät enää pysty koaguloimaan muita hiukkasia. Tehokas ja lyhytaikainen sekoitus on siis tärkeää suolan lisäysvaiheessa (RIDDICK 1964). Sekoituksen jälkeisellä hitaalla hämmennyksellä edistetään flokkien kasvua, jonka jälkeen nämä voidaan erottaa laskeuttamalla, flotaatiolla tai suodatuksella. Jäteveden käsittelyjärjestys kemiallisessa puhdistuksessa voi olla esimerkiksi seuraava (ECKENFELDER 1970):

- lisätään emästä tarvittaessa
- " primääristä flokkauskemikaalia, esim. Al- tai Fe-suolaa
- sekoitetaan voimakkaasti 30 sek. ajan
- lisätään kationista polyelektrolyyttiä, joka parantaa flokin kasvua ja kestävyyttä
- hämmennetään 20 - 30 min.
- hämmennyksen kestäessä lisätään pitkäketjuista anionista tai neutraalia polyelektrolyyttiä, joka liittää flokkeja yhteen parantaen laskeutusta
- laskeutus.



### 3. ERÄITÄ KEMIALLISTA PUHDISTUSTA KOSKEVIA TUTKIMUKSIA

#### 3.1. Yleistä

Laboratorio- ja pilot-plant -mittakaavassa on kokeiltu sulfaattisellutehtaan eri jätevesijakeiden ja pääviemäri-veden puhdistusta erilaisilla kemikaaleilla ja eri oloissa. Huomiota on kiinnitetty värin sekä biologisen ja kemiallisen hapentarpeen vähenemiseen. Kemiallisella puhdistuksella ei ole odotettavissa korkeita BHT-reduktioita, sillä yleisimmin käytetty analyysi BHT<sub>5</sub> kuvaa vain nopeasti hapettuvan aineksen osuutta, kuten edellä jo on mainittu. Tämä nopeasti hapettuva aines koostuu molekyylirakenteeltaan yksinkertaisista liuenneessa muodossa olevista yhdisteistä. Kemiallinen puhdistus ei vaikuta tähän komponenttiin. Biologisesti hitaasti hapettuva ligniini sen sijaan on pääasiassa kolloidisessa muodossa, joten se saostuu kemiallisessa käsittelyssä. BHT-reduktiota siis tapahtuu, mutta käytetty analyysi ei anna siitä todellista kuvaa. Edellisestä huolimatta BHT<sub>5</sub>:na määritetyssä hapentarpeessa tapahtuu melkoista vähennystä kemiallisessa puhdistuksessa, kuten kohtien 3 ja 4 esityksistä ilmenee.

Kemiallisen hapenkulutuksen määrittämisessä sen sijaan orgaanisen aineksen hapettuminen tapahtuu täydellisemmin. Täten analyysin antama kuva kemiallisessa puhdistuksessa tapahtuneesta reduktiosta on todellisempi. Väri johtuu pääasiassa ligniiniin ja sen hajoamistuotteisiin liittyneistä kromoforisista ryhmistä, kuten edellä on mainittu, joten pääosa

väristä poistuu ligniinin saostumisen mukana. Väri todella vähenee huomattavasti kemiallisessa käsittelyssä, kuten jäljempänä esiteltävät tutkimustulokset osoittavat. Toisaalta eräät tutkijat ovat osoittaneet (McGLASSON et. al. 1966), että väri sulfaattisellutehtaan lajittamon ja valkaisimon jätevesissä on liuenneessa muodossa. Kokeet suoritettiin suodattamalla jätevettä suodinsarjalla, jossa huokoskoko vaihteli välillä 5 - 1 200 nm. Tutkimusten tulokseksi saatiin, että 85 % väristä meni pienimmän suotimen läpi ja on siis liuenneessa muodossa. Toisaalta myös RIDDICK (1964) olettaa flokkautumisen teoriaa käsitelleessään, että liuenneessa muodossa olevat värimolekyylit adsorboituvat muodostuviin metallihydroksidipolymeereihin.

### 3.2. Kuorimojätevesi

Saksalaisessa tutkimuksessa (KINZNER 1964) kokeiltiin kuorimovesien saostusta alunalla sekä alunan ja Na-karboksimetyyliselluloosan, eläinliiman, "Cirine"-retentioapuaineen ja aktivoidun piidioksidin yhteiskäytöllä sekä magnesium- ja rautasuoloilla. Koska seisotettu kuorimovesi puhdistuu usein helpommin kuin tuore, käytettiin tutkimuksessa vain tuoretta jätevettä. Ennen saostusta suodatettiin puun- ja kuorenkappaleet pois.

NaCMC:lla ja "Cirine":llä ei tutkimustulosten mukaan juuri havaittu positiivista vaikutusta, mutta lietteen tilavuus kasvoi hieman. Eläinliima oli hiemen parempi. Rautasuolat värjäisivät veden reagoidessaan jäteveden tanniinien kanssa. Aktivoidulla  $\text{SiO}_2$ :lla saavutettiin hyviä tuloksia. Annokset olivat 50 - 70 mg/l alunaa ja 30 - 50 mg/l akt.  $\text{SiO}_2$ , jolloin tapahtui flokkautumista. Optimiannos oli 150 mg/l alunaa ja 50 mg/l akt.  $\text{SiO}_2$ . Tällöin flokkautuminen tapahtui välittömästi ja hämmentämällä hitaasti muutaman minuutin ajan saatiin suuria flokkeja, jotka laskeutuivat nopeasti.

Kalkkimaidon ja  $\text{MgCl}_2$ :n yhteiskäytöllä saavutettiin myös hyvä puhdistumistulos. Tässä tapauksessa pH kohosi hieman emäksen puolelle, jossa on myös  $\text{MgCl}_2$ :n optimi-pH. Annokset olivat 50 mg/l  $\text{MgCl}_2$  ja 100 mg/l  $\text{CaO}$ . Hämmennysaika oli 10 - 15 min. Käytettäessä kaliteollisuuden jätettä, joka sisältää 33 %  $\text{MgCl}_2$  sekä bunakalkkia, olivat kemikaalikustannukset neljäsosa alunan ja akt. $\text{SiO}_2$ :n kustannuksista.

Kemiallisen puhdistuksen tehokkuutta tutkittiin myös koe-laitteistolla, joka koostui seuraavista vaiheista:

- mekaaninen esipuhdistus
- kalkkimaidon ja  $\text{MgCl}_2$ -pitoisen jäteliuoksen lisäys
- hämmennys 10 - 15 min
- laskeutus
- lietteen vedenpoisto.



Laitteistolla pystytettiin käsittämään jätevettä  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ . Mekaaninen esipuhdistus suoritettiin tärylajittimella ja Strindlund-suotimella. Laskeutus tapahtui  $100 \text{ m}^3$ :n suora-kaiteen muotoisessa altaassa. Selkeytysaltaan ylijuoksun kiintoainepitoisuus vaihteli välillä  $5 - 25 \text{ mg/l}$ , kun se suodattimen jälkeen oli  $140 - 200 \text{ mg/l}$ . Annokset olivat  $90 - 120 \text{ mg/l CaO}$  ja  $35 - 65 \text{ mg/l MgCl}_2$ .  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksen ilmoitettiin vähentyneen huomattavasti, kun taas BHT pysyi lähes muuttumattomana.

Abitibin tutkimuskeskuksessa Kanadassa on tutkittu kuorimo-jätevesien kemiallista saostusta lähinnä kiintoainepitoisuuden vähentämiseksi (ANON. 1967). Rumpukuorinnassa osa kuoresta jauhautuu erittäin hienoksi, lähes kolloidiseksi lietteeksi, jota mekaanisin keinoin: suodattamalla, sentrifugoinnilla, flotaatiolla tai laskeuttamalla ei pystytä erottamaan. Kiintoainepitoisuus pyrittiin vähentämään tasolta  $300 - 2000 \text{ mg/l}$  arvoon n.  $50 \text{ mg/l}$ .

Tutkimuksissa todettiin suuri flokkausaineannoksen ero tuoreen ja seisotetun kuorimojäteveden välillä. Esimerkiksi, jos tuore jätevesi vaati tiettyä kemikaalia hyvän flokkautumisen saavuttamiseksi  $30 \text{ mg/l}$ , kahden viikon seisotuksen jälkeen riitti  $5 \text{ mg/l}$ :n annos. Aluksi tutkittiin maakuljetettua puuta käsittelevän kuorimon jätevesien kemiallista puhdistusta. Alunan ja kalkin yhteiskäytöllä ( $100 \text{ mg/l}$  alunaa ja  $300 \text{ mg/l}$  kalkkia) saavutettiin puhdistetun

jäteveden kiintoainepitoisuudessa taso 50 mg/l. Annokset olivat kuitenkin suhteettoman suuria ja lisäksi tapahtui veden värjäytymistä kalkin reagoidessa jätevedessä olevien yhdisteiden kanssa. Seuraavaksi kokeiltiin erilaisia polyelektrolyyttejä, joista ainoastaan "Separan C-90" osoittautui tehokkaaksi, sekin annoksella 30 mg/l valmistajan suositellessa 1 - 5 mg/l. Varastoitua maakuljetettua puuta käsiteltäessä syntyvä jätevesi vaati flokkautuakseen alunaa 60 mg/l ja lisäksi "Separan C-90":tä tai "Calgon 225":tä 20 mg/l.

Vesikuljetettua puuta käsittelevän kuorimon jäteveden todettiin tarvitsevan alunaa 60 - 80 mg/l ja toisinaan lisäksi 1 - 15 mg/l "Separan C-90":tä. Edellä kuvatuilla tavoilla puhdistettua vettä voitiin käyttää suodatuksen jälkeen kuorimon kiertovetenä.

### 3.3. Valkaisimon kloorivaiheen jätevesi

CLARKE et.al. (1969) on tutkinut laboratoriomittakaavassa valkaisimon kloorivaiheen jäteveden saostusta Al- ja Fe-kloridilla ja -sulfaatilla. Veden pitoisuudet olivat seuraavat:

pH	2.2
väri	320 - 460 mg Pt/l
klorideja	n. 600 mg/l
kokonaishiili	80 - 135 "
haihdutusjäännös	400 - 480"

Jätevesi on väriltään kellertävää. Suodatuskokeissa todettiin, että värin muodostavat hiukkaset ovat keskimäärin suurempia kuin hiukkaset, jotka sisältävät pääosan kokonaishiilestä. Väristä 58 - 75 % meni läpi 100 mm:n suotimesta, kun taas 87 - 96 % kokonaishiilestä meni läpi samasta suotimesta. Eräässä näytteessä värihiukkasten koko oli vielä suurempi kuin muissa, samalla kunnsiinä oli vähemmän klorideja. Kloori siis hajottaa väriä muodostavia hiukkasia.

Aluna + lipeä- ja aluminiumkloridi + kalkkisaostuksissa optimi-pH oli välillä 5 - 6. Alunalla ja lipeällä väheni väri 87 % ja kokonaishiili 40 % annoksella 0.0023 mol/l Al-iona. Tämä vastaa 680 mg/l  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ :a. Aluminiumkloridilla ja kalkilla saavutettiin 91 % vähennys värissä ja 42 % vähennys kokonaishiilessä annoksella 0.0015 mol/l, joka vastaa 200 mg/l  $\text{AlCl}_3$ :a. Jälkimmäisessä tapauksessa saavutetut paremmat tulokset johtuvat kalkin saostavasta vaikutuksesta. Kok.hiilen vähenemä on pienempi kuin värin sen tähden, että hiukkaset ovat pienempiä kuin väriä aiheuttavat ja luultavasti pääosin liuenneessa muodossa. Kemiallinen käsittely ei vaikuta kok.hiileen yhtä tehokkaasti kuin väriin.

Kombinaatiolla  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaOH}$  saavutettiin 85 % värin vähenemä ja 48 % kok.hiilipitoisuuden vähenemä annoksella 0.002 mol/l Fe-iona, mikä vastaa 400 mg/l  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ :a. Optimi-pH vaihteli välillä 3.5 - 4.5.



### 3.4. Valkaisimon alkalivaiheen jätevesi

TEJERA et al. (1970) on tutkinut laboratoriomittakaavassa valkaisimon alkalivaiheen jäteveden kemiallista puhdistusta.

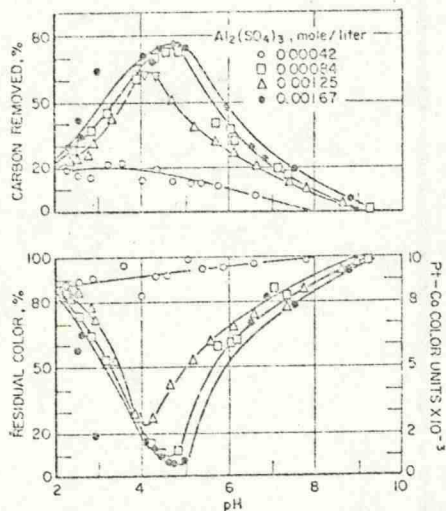
Jäteveden analyysiarvot olivat seuraavat:

pH	10.3 - 10.7
väri	9 800 - 10 700 mg Pt/l
kokonaishiili	555 - 750 mg/l
haihdutusjäännös	2 230 - 3 030 mg/l

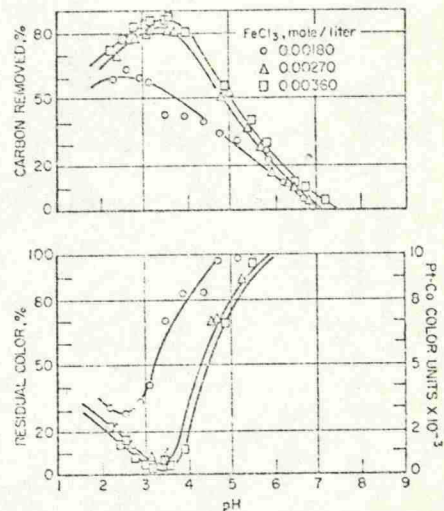
pH:n säätökemikaaleina olivat NaOH ja HCl.

$\text{AlCl}_3$ :n optimi-pH oli välillä 4.0 - 5.0. Annoksella 0.00335 mol/l Al-iona eli 450 mg/l  $\text{AlCl}_3$ :a saavutettiin 85 % poistuma kokonaishiillessä ja 96.5 % poistuma värissä pH:n ollessa 4.6. Alunan optimi-pH oli myös välillä 4.0 - 5.0. Tulokset ilmenevät oheisista diagrammeista (kuva 2). Mustilla pisteillä merkityt käyrät vastaavat annosta 0.00335 mol/l Al-iona eli 1 000 mg/l  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ . Todetaan, että aluminiumkloridilla saavutetaan paremmat tulokset kuin alunalla Al-ioniväkevyyden ollessa sama. Tämä johtuu sulfaatti-ionin koaguloitumista häiritsevästä vaikutuksesta.

$\text{FeCl}_3$ :lla suoritetuissa kokeissa todettiin optimi-pH:n olevan välillä 2.5 - 3.5. Tulokset ilmenevät kuvan 3 diagrammeista.



Kuva 2 pH:n ja aluna-annoksen vaikutus kok. hiilen ja värin poistoon (TEJERA et al. 1970)



Kuva 3 pH:n ja ferrikloridiannoksen vaikutus kok. hiilen värin poistoon (TEJERA et al. 1970)

Neliöillä merkityt käyrät vastaavat Fe-ioniannosta 0.0036 mol/l, joka vastaa 975 mg/l  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Ferrisulfaatin optimi-pH oli välillä 2.8 - 3.5. 88 % väri- ja 80 % kokonaishiilivähennys saavutettiin annoksella 0.00312 mol/l Fe-onia eli 625 mg/l  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .

Sulfaatti-ionin vaikutusta koaguloitumiseen tutkittiin käsittelemällä jätevettä vakioannoksella  $\text{AlCl}_3$ :a ja lisäämällä vaihtelevia määriä  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :a ja  $\text{NaCl}$ :a. Jälkimmäisen ei todettu vaikuttavan tulokseen, mutta sulfaatti-ionien todettiin vähentävän jyrkästi tehoa väkevyyteen 0.05 mol  $\text{SO}_4^{2-}$ /l asti, jolloin väri- ja hiilireduktio oli noin 10 % yksikköä alkuperäistä pienempi.

Verrattaessa valkaisimon kloori- ja alkalivaiheiden jätevesien puhdistustutkimusten tuloksia havaitaan, että koagulantti on noin 12 kertaa tehokkaampi alkalivaiheen jätevedessä, eli sama määrä suolaa poistaa alkalivaiheen vedestä 12 kertaa enemmän kokonaishiiltä ja väriä kuin kloorivaiheen jätevedestä. Tämä havainto puolustaa alkalivaiheen jäteveden erillistä kemiallista puhdistusta.

*org. aineen*  
Alkalivaiheen jäteveden ~~saostamista~~ saostamista kalkilla on tutkittu laajasti kiinnittäen päähuomio värin poistumiseen (NCASI 1970). 90 % värireduktio todettiin saavutettavan annoksella 1 500 mg  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /l. Ekvivalentit määrät  $\text{CaO}$ :a,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ :a ja  $\text{CaCl}_2$ :a ovat yhtä tehokkaita. Saostuminen tapahtuu vain, jos jätevesi on emäksinen kalkkilisäyksen jälkeen. Värin väheneminen ei ole juuri riippuvainen veden lämpötilasta. Kalkilla käsitellyn jäteveden väri heikkenee melkoisesti sitä seisotettaessa.

### 3.5 Sulfaattisellutehtaan jätevedet

Koivua ja mäntyä käyttävien sulfaattisellutehtaiden yhteisjätevesien kemiallista puhdistusta on tutkittu SMITH et al. (1969) toimesta. Optimiannoksen määrittäminen suoritettiin ilman pH-säätöä. Koivusulfaattisellutehtaan jätevedelle, jonka väri oli 710 mg Pt/l, optimiannos alunaa oli 150 mg/l. Tämän jälkeen tutkittiin pH:n vaikutusta, jolloin optimipH:ksi saatiin 5.3. Näin määritetyissä optimioloissa oli



värireduktio 89 %. Tutkitun mäntysulfaattisellutehtaan jäteveden väri oli 1 320 mg Pt/l. Aluna-annos oli 300 mg/l ja optimi-pH 5.3, jolloin värin vähenemä oli 92 %. Samalla vedellä suoritetuissa ferrikloridisaostuksissa saatiin optimiannokseksi 286 mg/l ja -pH:ksi 3.9, jolloin väri väheni 87 %.

Valkaisematonta ja valkaistua sulfaattisellua valmistavien tehtaiden jätevesien puhdistusta tutkittiin pilot-plant-mittakaavassa (SMITH et al. 1968). Tarkoituksena oli selvittää, voidaanko nelivaiheinen puhdistussekvenssi: mekaaninen, kemiallinen ja biologinen puhdistus sekä aktiivihiiplikäsittely korvata puhdistussarjalla, josta biologinen puhdistus on jätetty pois. Laskeutuvan kiintoaineen erotuksen jälkeen jäteveteen lisättiin 10 000 - 15 000 mg/l poltettua kalkkia. Kirkasteen sisältämä  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  saostettiin  $\text{CaCO}_3$ :na hiilidioksidilla. Kuuden kolmivaiheisen puhdistuskokeen ja seitsemän nelivaiheisen kokeen tulokset ilmenevät taulukosta 2.

Treatment Step	5-Day BOD				Color			
	4-Stage Process		3-Stage Process		4-Stage Process		3-Stage Process	
	mg/l	% Removal	mg/l	% Removal	units	% Removal	units	% Removal
Raw	max.	1430	265		12,000		5,250	
	min.	225	206		1,000		240	
	av.	723	221		5,200	—	3,558	—
Lime	max.	740	144		1,000		450	
	min.	170	69		90		10	
	av.	395	102	54	358	93	185	95
Biol.	max.	135			1,000			
	min.	21			200			
	av.	48	83		365	0		
Carbon	max.	80	15		15		55	
	min.	0	32	68.5	10		0	
	av.	23	32	68.5	13	96.5	23	87.5
Total		23	97	32	13	99.5	23	99.5

Taulukko 2 3- ja 4-vaiheisen puhdistuksen vertailua (SMITH et al. 1968)

Tuloksista nähdään, että kolmivaiheisella prosessilla on mahdollista saavuttaa lähes yhtä hyvä puhdistusaste kuin nelivaiheisella, ja kustannukset olisivat n. 30 % pienemmät. Näin korkean puhdistusasteen toteuttaminen edellyttää, että vesi käytetään uudelleen. Valkaistua sulfaattisellua valmistavan tehtaan jätevesille olisi kuitenkin suoritettava lisäksi suolanpoisto kloridi-ionipitoisuuden pienentämiseksi.

Eräässä japanilaisessa tutkimusraportissa (MAKINO et al. 1966) ehdotetaan käytettäväksi alunan ja ferrikloridin seosta 400 mg/l sulfaattisellutehtaan jätevesien saostamiseen. Värin ilmoitetaan vähenneen kokeissa 92 % ja kemiallisen hapentarpeen 20 - 40 %.

### 3.6. Muita

Diplomityön kokeellisessa osassa suoritettujen flokkaus-kemikaaliannos-zetapotentiaalinmäärittysten tarkastelupohjaksi esitetään eräs jokivedellä suoritettu vastaava tutkimus (WILLIAMS 1963). On esitetty, että koaguloituminen alkaisi zetapotentiaalin pienennyttyä arvoon -10 mV ja koaguloituminen olisi täydellinen, kun zetapotentiaali laskee - 5 mV:n alapuolelle (MANUAL 1968). Tutkimuksen tulokset puhuvat kuitenkin toista kieltä. Koetulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3 Sameusreduktion ja zetapotentialin riippuvuus aluna-annoksesta

aluna-annos mg/l	sameusreduktio, %	zetapotentiali, mV
Koe I 0	0	- 19.9
22	90	- 14.0
28	95	- 12.0
48	99	- 1.0
Koe II 0	0	- 21.7
14	85	- 17.0
17	90	- 15.5
30	95	- 9.5
44	99	- 2.0
Koe III 0	0	- 22.0
7	85	- 15.0
9	90	- 13.0
12	95	- 10.0
31	99	+ 3.0

Tuloksista nähdään, että suurin osa koaguloitumisesta tapahtuu jo ennen kuin zetapotentiali pienenee - 10 mV:iin ja - 5 mV:n alapuolelle päästään vasta suhteettoman suurilla aluna-annoksilla.

### 3.7. Yhteenvedo puhdistuskokeista

Taulukossa 4 esitetään yhteenvetona edellä esitellyissä tutkimuksissa käytetyt flokkauskemikaalit, saavutetut reduktiot sekä kirjallisuusviitteet.



Taulukko 4 Yhteenvedo puhdistustutkimuksista

Tutkittu jätevesi	Flokkaus- kemikaali	Kokhi- liväh.%	Väri- väh.%	BHT <sub>5</sub> - väh.%	Kirjalli- suusviite
Kuorimojätevesi	aluna+akt. SiO <sub>2</sub> MgCl <sub>2</sub> +Ca(OH) <sub>2</sub> aluna+polyel.				KINTZNER 1964 " ANON 1967
Valkaisimon	aluna	40	87		CLARKE et al. 1967
kloorivaiheen	aluminiumkloridi	42	91		"
jätevesi	ferrisulfaatti	48	85		"
Valkaisimon	aluna	76	95		TEJERA et al. 1967
alkalivaiheen	aluminiumkloridi	85	97		"
jätevesi	ferrisulfaatti	80	88		"
	ferrikloridi	86	97		"
	kalkki		90		NCASI 1970
Sulfaatti-	aluna		91		SMITH et al. 1969
sellutehtaan	ferrikloridi		87		"
yhteisjätevesi	kalkki		94	50	SMITH et al. 1968
	aluna+ferri- kloridi		92		MAKINO et al. 1966

#### 4. TOTEUTETUT PUHDISTUSMENETELMÄT

##### 4.1. Vaggeryd

Munksjö AB:n tehtailla Vaggerydissä Ruotsissa valmistetaan valkaisematonta sulfaattisellua, kemimekaanista massaa ja käärepaperia. Kemikaalien talteenotto tapahtuu cross-recovery -menetelmällä. Puuraaka-aine toimitetaan tehtaalle hakkeena. Osa tämän tehtaan pääviemärin vedestä puhdistetaan kemiallisesti alunalla. Jätevesi muodostuu pääasiassa lajittamovesistä ja kuivauskoneen sekä peperikoneen jätevesistä. Lauhteet on viemäröity erikseen. Puhdistuslaitteisto on otettu käyttöön v. 1968.

Puhdistuslaitteiston kapasiteetti on  $20 \text{ m}^3/\text{min}$ . Alunannos on n.  $100 \text{ mg/l}$ , ja se lisätään hiekkaloukkuun ennen flokkaus-selkeytysallasta. Pyöreän altaan keskellä olevassa kampamaisella sekoittajalla varustetussa reaktiokammiossa tapahtuu flokkautuminen. Jätevesi joutuu tämän jälkeen ulompaan erotus- ja laskeutusvyöhykkeeseen, josta puhdistunut vesi poistuu ylijooksuna. Pohjalaahain vetää lietteen altaan keskustaan, josta liete pumpataan kokonaisuudessaan käärepaperin valmistukseen. Altaan halkaisija on  $40 \text{ m}$  ja syvyys ulkolaidalla  $2 \text{ m}$ .

Puhdistuslaitteistolla suoritettiin koesarja, jossa tutkittiin a) pelkän mekaanisen selkeytyksen, b) mekaanisen flokkauksen ja selkeytyksen sekä c) kemiallisen saostuksen ja selkeytyksen puhdistustehoa. Virtaus oli tällöin  $12 \text{ m}^3/\text{min}$ ,

joka vastaa pintakuormaa  $0.65 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ . Tulevan veden kiintoainepitoisuus oli 250 - 400 mg/l ja ylijuoksun 10 - 30 mg/l. Viimeksi mainittu näytti olleen lähes riippumaton puhdistustavasta. Syötön  $\text{BHT}_7$  oli 100 - 300 mg/l.

Mekaanisessa selkeytyksessä ei tapahtunut  $\text{BHT}_7$ -reduktiota; mekaanisessa flokkauksessa se oli hyvin pieni n. 10 %.

Aluna-annoksilla 50, 100 ja 150 mg/l saavutettiin  $\text{BHT}_7$ -reduktiot 20, 60 ja 60 %. Eräässä kokeessa aluna-annoksella 100 mg/l oli ylijuoksun  $\text{BHT}_7$  keskimäärin 43 mg/l ja syötön 130 mg/l. Pääviemärin aiheuttama ominais- $\text{BHT}_7$ -kuormitus oli tällöin n. 4 kg/t.

Puhdistuslaitteistossa saavutettu värireduktio oli eri kombinaatioilla seuraava:

	Väri	
	mg Pt/l	väh. %
Käsittelemätön vesi	800-850	
Mekaaninen selkeytys	770	
Mekaaninen flokkaus	740	
Alunasaostus		
- 50 mg/l	540	35
- 100 "	170	80
- 150 "	85	90

$\text{KMnO}_4$ -kulutus väheni mekaanisessa flokkauksessa n. 20 % ja aluna-annoksella 120 mg/l 71 %. Sisääntulevan veden pH oli 8.1 - 8.7. Alunalisäyksiin 50, 100 ja 150 mg/l oli vastaava ylijuoksun pH 7.0, 7.2 ja 6.6.



Liete pumpataan jatkuvasti selkeyttimestä sakeudessa 0.5 % ja se sekoitetaan oksamassan joukkoon. Seos sakeutetaan 3 % sakeuteen ennen paperikoneelle pumppausta. Liete muodostaa 20 % paperin raaka-aineesta (ULLMAN 1970).

#### 4.2. Baikal

Neuvostoliitossa sijaitsevassa maailman syvimessä järvestä on erittäin kirkas vesi ja eliökanta, jota ei juuri tavata muissa järvissä. Tästä syystä järven rannalle rakennettavilta selluloosatehtailta on vaadittu erittäin tehokas jätevesien puhdistus. Seuraavassa esitetään erään koordiselluloosaa valmistavan tehtaan puhdistusjärjestelmä ja sillä saavutettuja tuloksia (EVILEVIČ et al. 1970).

Puhdistuslaitteisto on toiminut vuodesta 1967. Tehdasosastoilla suoritettavien toimenpiteiden vuoksi jäteveden kiintoainepitoisuus saadaan alenemaan alle 70 mg/l, joten jätevesi voidaan syöttää suoraan biologiseen puhdistukseen ilman edeltävää mekaanista puhdistusta. Biologisen puhdistuksen jälkeen seuraa kemiallinen saostus alunalla ja polyakryyliamidilla. Ylijuoksu suodatetaan hiekkasuotimilla, ilmastetaan padotuksella ja johdetaan Baikal-järveen 40 m syvyyteen hajottavalla ulostulolla, jolloin se laimenee 34-kertaiseksi. Hätätilanteita varten ja jäteveden pitoisuuksien tasaamiseksi on rakennettu altaita, joihin sopii kahdeksassa tunnissa virtaava jätevesimäärä.

Laboratorio- ja pilot plant -mittakaavaisten tutkimusten tuloksena biologisen puhdistuksen BHT:N:P -suhteen optimiksi saatiin 100:4:1. pH:n oli oltava välillä 7.0 - 7.2 ja lämpötilan yli 10°C. Kemiallisessa puhdistuksessa saatu liete suotautui huonosti, tukki suotimen ja sitä oli vaikea irroittaa suodinviiralta. Kapasiteetti oli vain 0.8 - 1 kg/m<sup>2</sup>,h, ja lietekakun kosteus oli 82 - 92 %. Kokeillut lisäaineet eivät parantaneet tulosta. Sen sijaan lietettä jäädytettäessä sen rakenne muuttuu ja siitä tulee sulatuksen jälkeen tiiviimpää. Suotautumisvastus pieneni 1/100 - 1/300 -osaan alkuperäisestä ja suotimen kapasiteetti kohosi 100 kg/m<sup>2</sup>,h:aan. Lietekakun kosteus oli 70 - 75 %.

Taulukosta 5 ilmenevät heinä-joulukuussa 1968 puhdistettavasta jätevedestä eri vaiheissa tehtyjen analyysien tulokset. Ne koskevat vain ns. "mustan" jäteveden puhdistusta. "Valkeaa" jätevettä ei puhdistettu tänä aikana.

Taulukko 5 Baikalin puhdistuslaitoksen analyysituloksia

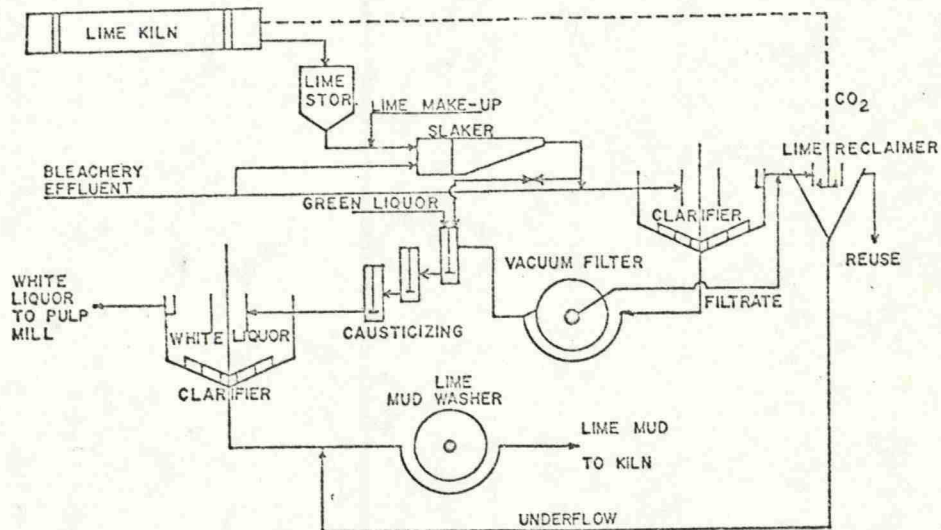
	Ennen biol. puhdistusta	Biol.puhd. jälkeen	Kemiall. puhd. jälkeen
lämpötila °C	21 - 24		
pH	6.8 - 6.9	7.1 - 7.3	4.4 - 4.8
BHT <sub>5</sub> mg/l	182 - 309	4.3 - 7.7	1.4 - 2.9
KHT "	714 - 979	443 - 536	58 - 78
KAP "	51 - 69	27 - 44	12 - 22
hehkutushäviö "	617 - 866	315 - 564	150 - 189
hehkutusjäännös "	696 - 1025	747 - 1085	942 - 1195
väri		3310 - 3960	90 - 107

Saavutettu puhdistusaste on korkea muiden kuin jäteveden suolapitoisuuden osalta.

#### 4.3. Kalkkisaostusmenetelmät

##### 4.3.1. Massive lime

International Paper Company omistaa Springhillissä Yhdysvalloissa valkaistua sulfaattisellua valmistavan tehtaan. Siellä on toteutettu huomattavan värikuormituksen aiheuttavalle valkaisimon alkalivaiheen jätevedelle kemiallinen puhdistus, jonka on kehittänyt paperiteollisuuden ilman- ja vesiensuojelujärjestö NCASI. Tämän Massive lime -prosessin periaate ilmenee kuvasta 4. Poltetun kalkin sammu- tus suoritetaan kaustistamalla osalla alkalivaiheen jäte- vettä ja saatu seos sekä loput jätevedestä johdetaan sel- keyttimeen, jossa tapahtuu saostuman erottaminen.



Kuva 4 Massive-lime -prosessi (BERGER et al. 1968)

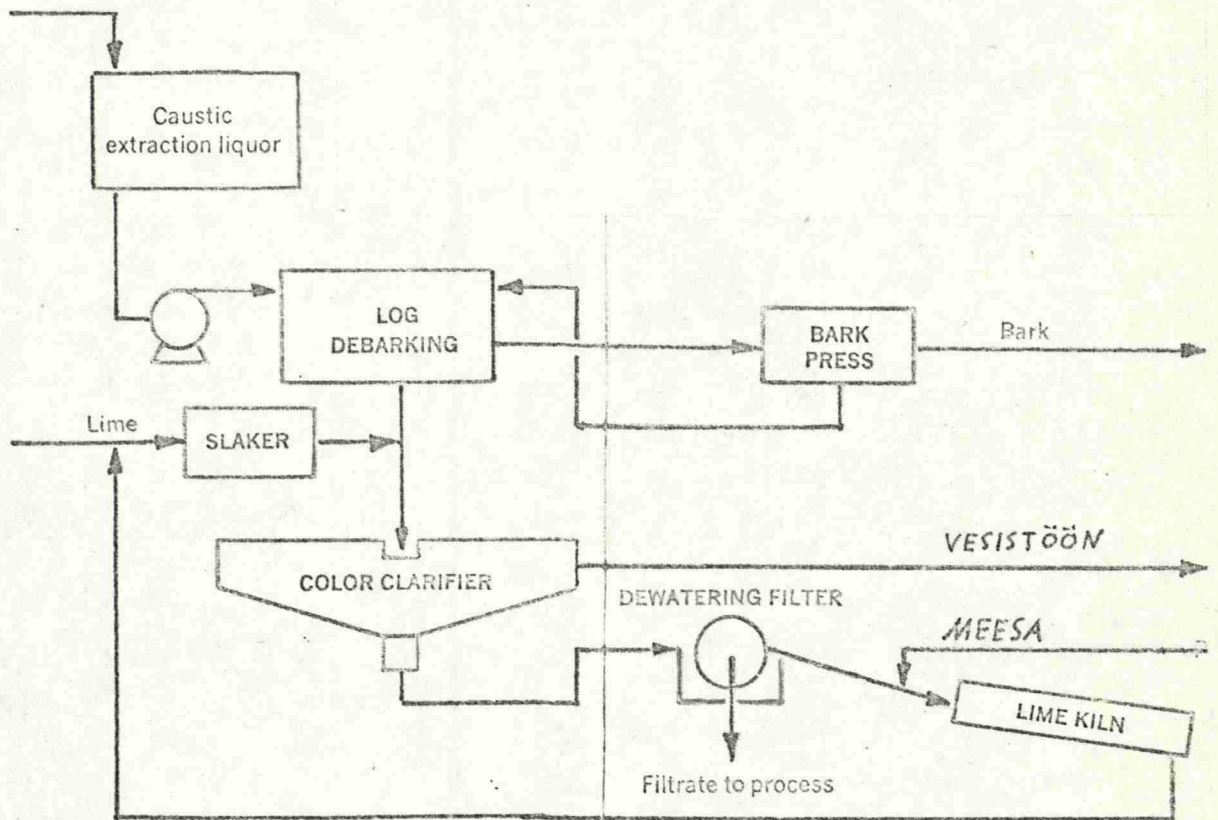


Liete sakeutetaan suotimessa ja johdetaan yhdessä viherlipeän kanssa kaustistamisastioihin. Valkolipeäselvittimestä joutuu jätevedestä saostunut aines yhdessä meesan kanssa meesauuniin. Jätevesiselkeyttimen ylijouksuun johdetaan meesauunin savukaasuja, jolloin  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  muuttuu  $\text{CaCO}_3$ :ksi ja saostuu. Sakka johdetaan meesauunin syöttöön. Massive lime -saostuksessa käytetään runsasta kalkkiannosta, 18 000 - 20 000 mg  $\text{CaO}/\text{l}$ . Tämä tehostaa värin poistoa ja parantaa lietteen laskeutusta ja suodatusta.

Puhdistusprosessi käynnistettiin v. 1970. Sen kapasiteetti on  $2 \text{ m}^3$  jätevettä/min. ja tarvittava kalkkimäärä 63 tn/vrk. Jätevesiselkeyttimen halkaisija on 7.9 m ja syvyys 7.3 m.  $\text{CaCO}_3$ -selkeyttimen halkaisija on 9.2 m ja syvyys 7.3 m. Värireduktio on 92 - 97 % ja BHT-reduktio 35 - 57 %. Ylijouksun karbonoinnilla pH 10.5 - 11.5:een vähennetään sen  $\text{CaO}$ -pitoisuus luokkaan 10 - 20 mg/l.

Massive lime -prosessissa jätevesiselkeyttimen lietteen sisältämä  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  korvaa osan sammuttimeen syötettävästä  $\text{CaO}$ :sta. Sammuttimen ja kaustistamisastioiden lämmöntarve kasvaa näin ollen jonkin verran ja  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -lietteen sisältämän kosteuden takia muodostuva valkolipeä on hieman laimeampaa (ANON. 1969).

4.3.2. Woodland ja Hodge



Kuva 5 Valkaisimon alkalivaiheen jäteveden ja kuorimo-  
veden käsittely kalkilla (GOULD 1971)

Georgia-Pacific Corp:in sulfaattisellutehdas Woodlandissa Yhdysvalloissa on toteuttanut valkaisimon alkalivaiheen jäteveden ja kuorimojäteveden kemiallisen puhdistuksen. Vuonna 1970 käynnistetyn puhdistuslaitteiston toimintaperiaatetta esittää kuva 5. Valkaisimon alkalivaiheen jätevesi käytetään kuorinnassa. Kuorimolta tulevaan jäteveteen, määrältään  $11 \text{ m}^3/\text{min}$ , sekoitetaan kalkkia  $3\,000 \text{ mg/l}$  ja seos johdetaan selkeyttimeen. Pääero Massive lime -prosessiin

on, että käytetään minimiannos kalkkia. Selkeyttimen halkaisija on 21 m, syvyys keskellä 7 m ja tilavuus 1 300 m<sup>3</sup>. Ylijuoksu johdetaan vesistöön ja liete, määrältään 6 t/vrk, pumpataan suotimelle. Sakeutettu liete johdetaan meesa-uuniin.

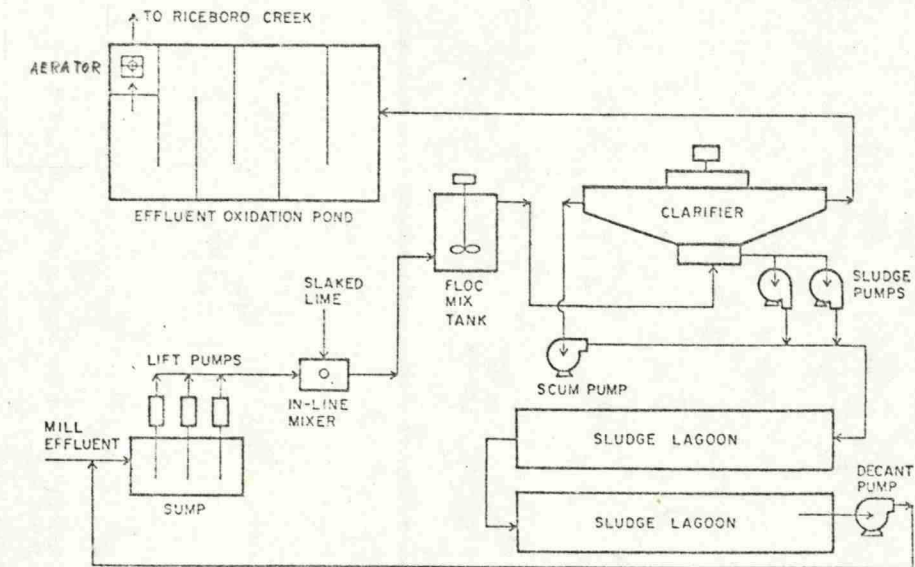
Sellutehtaan muut jätevedet puhdistetaan mekaanisesti selkeyttimessä, jonka halkaisija on 58 m ja kapasiteetti 53 m<sup>3</sup>/min. Liete sakeutetaan ja johdetaan yhdessä kuorien kanssa polttoon. Saniteettivesille on biologinen puhdistus ja klooraus. Näiden kolmen puhdistusjärjestelmän toteutus vähensi BHT-kuormaa 82 %, väriä 85 - 90 % ja kiintoainesta 96 % (GOULD 1971).

Viime aikoina saatujen tietojen mukaan kalkkisaostusmenetelmä ei kuitenkaan olisi toiminut tyydyttävällä tavalla, vaan kyseessä olevat jätevesijakeet puhdistettaisiin muulla tavoin (VUORILEHTO 1971).

Edellä kuvatun kalkkisaostusmenetelmän kaltaista puhdistusta käytetään myös Continental Can Companyn tehtailla Hodgesissa USA:ssa. Laitteisto lienee otettu käyttöön vuoden 1971 alussa ja sillä puhdistetaan valkaisematonta sulfaattisellua ja kemimekaanista massaa valmistavan tehtaan jätevesiä. Selkeyttimen ylijuoksu käsitellään savukaasuilla kalkkihäviöiden pienentämiseksi. Jätevesi- ja CaCO<sub>3</sub>-selkeyttimestä saatuun lietteeseen sekoitetaan meesa ennen suodattusta, jolloin lietteen suotautuminen paranee (GEHM 1971).



#### 4.3.3. Riceboro



Kuva 6 Sulfaattisellu- ja kraftlinertehtaan  
jätevesien kalkkisaostus (OLIN 1969)

Interstate Paper Corp:lle valmistui vuonna 1968 Riceboraan Yhdysvaltoihin sulfaattisellua ja kraftlineria valmistava tehdas. Samalla otettiin käyttöön jätevesien kemiallinen puhdistus. Puhdistukseen tulee jätevesi tehtaan pääviemäristä. Puhdistusprosessin vaiheet selviävät kuvasta 6. Poltetun kalkin sammutukseen käytetään haihduttamon sekundäärilauhdetta. Sammutettu kalkki johdetaan jäteveden joukkoon ja seos virtaa flokkautumissäiliöön, joka on varustettu sekoittajalla ja jonka halkaisija on 14 m. Viive säiliössä on 75 min. virtauksella  $13 \text{ m}^3/\text{min}$ . Flokkien

erotus tapahtuu selkeyttimessä, jonka halkaisija on 61 m ja syvyys keskellä 4.6 m. Liete ja vaahto pumpataan kahteen peräkkäiseen lietealtaaseen, joiden yhteinen tilavuus on 500 000 m<sup>3</sup>. Altaisiin sopii viiden vuoden aikana syntyvä liete. Selkeyttimen ylijouksu virtaa hapetusaltaaseen, jossa viive virtauksella 13 m<sup>3</sup>/min on 180 vrk. Lopuksi puhdistettu jätevesi käsitellään ilmastusaltaassa mekaanisella ilmastimella.

Ensimmäisenä toimintavuonna puhdistuslaitteiston kapasiteetti oli keskimäärin 17 m<sup>3</sup>/min, mikä vastaa 71 % tehtaan koko jätevesivirtauksesta. Tulevan veden väri on 600 - 800 mg Pt/l, josta puhdistuksessa poistuu 90 - 95 %. BHT vähenee kalkkisaostuksessa 25 - 35 % ja kaikissa käsittelyvaiheissa yhteensä 90 - 95 %. Kalkkiannos on keskimäärin 1 650 mg Ca(OH)<sub>2</sub>/l. Kalkin regenerointia ei siis tässä prosessissa suoriteta. Poltettu kalkki saadaan meesauunista, joten kemikaalikustannukset muodostuvat make-up kalkkikivestä ja meesauunin lisäkapasiteetin käytöstä (OLIN 1969).

#### 4.4. Japanilainen menetelmä

Eräässä Oji Paper Co:n tehtaassa Japanissa on toteutettu rautasuolasaostukseen perustuva valkaisimon jätevesien

kemiallinen puhdistus. Hapan kloorivaiheen jätevesi johdetaan yhteyteen rautaromun kanssa. Tällöin rautasuoloja liukenee veteen, ja pääasiassa ferromuodossa olevat suolat muuttuvat ferrisuoloiksi. Näin käsitelty kloorivesi sekoitetaan alkalivaiheen jäteveden kanssa ja pH:n säätämiseksi lisätään kalkkia, jonka jälkeen tapahtuu flokkautuminen ja selkeytys. Erotettu liete sakeutetaan precoat-suotimella ja poltetaan.

Ruotsissa on tehty laboratoriomittakaavaisia kokeita tällä menetelmällä. Värireduktioksi on saatu 90 %, KHT-reduktioksi 70 % ja BHT-reduktioksi 25 %.(ANON. 1971).

#### 4.5. Yhteenveto toteutetuista laitoksista

Edellä esitellyissä puhdistuslaitoksissa käytetään flokkauskemikaalina alunaa, rautasuoloja tai kalkkia. Viimeksi mainitussa tapauksessa flokkauskemikaali saadaan talteen yhdistämällä liete sulfaattisellutehtaan keittokemikaalien regenerointiprosesseihin. Meesauunissa poltettaessa saadaan lietteen orgaaninen osa käytettyä hyväksi lämpäenergiana. Kalkkisaostusmenetelmien kemikaalikustannukset rajoittuvat siis kalkkihäviöiden korvaamiseen. Alunaa käytettäessä sen sijaan kemikaalikustannukset kohoavat suuriksi, sillä ainakaan toistaiseksi ei ole pystytty kehittämään alunan regenerointimenetelmää. Alunaflokkauksessa syntyvän lietteen



käyttö on oma probleemansa. Vaggerydin menetelmässä on yhdistetty lietteen ja siinä olevan alunan hyväksikäyttö käyttämällä lietettä käärepaperinvalmistuksen massakomponenttina, jolloin lietteen sisältämä aluna korvaa osan tarvittavasta retentionparannusaineesta. Japanilaisessa menetelmässä kemikaalikustannukset ovat pienet. Lietteiden orgaaninen aines käytetään hyväksi polttamalla.

### III KOKEELLINEN OSA

#### 5. TEHDASESITTELY

##### 5.1. Tuotantoprosessi lähinnä vesitalouden kannalta tarkasteltuna

###### 5.1.1. Yleistä

Enso-Gutzeit Osakeyhtiön Tainionkosken tehtaat sijaitsevat Imatralla Vuoksen suun itäpuolella (ks. liitteen 1 kartta ja liitteen 2 kaavio), ja ne käsittävät sulfaattiselluloosatehtaan sekä integroidun kartonki- ja paperitehtaan. Sellutehtaan keittämön yhteydessä toimii lisäksi pieni lastuhiertäjä. Tuotantoluvut olivat v. 1970 seuraavat:

Sulfaattisellu	217 051 tonnia
- siitä valkaistu	114 600 "
hierre	1 576 "
kartonki	101 651 "
paperi	8 142 "

Sellutehdas käyttää raaka-aineenaan koivua ja mäntyä. Edellisen osuus on 60 %. Kartonkitehtaalla käytetään lähinnä valkaisematonta mäntymassaa. Vientiselluiksi kuivataan täysvalkaistua koivumassaa. Sellutehdas voi puolivalkaista koko tuotannon tai täysvalkaista puolet tuotannosta. Selluloosatehdas valmistui v. 1961 ja kartonkitehdas v. 1965.

### 5.1.2. Puunkäsittely

Tehtaalla käytetään puuta vuodessa 1.3 milj.  $\text{p-m}^3$ . Tästä määrästä kuoritaan tehtaalla 35 %, lähinnä koivua, mutta myös pieniä määriä mäntyä. Kuorinta suoritetaan 12 kuorintataskulla. Kuoritut pöllit sekä metsäkuorittu puutavara, sahauspinnat ja Neuvostoliitosta tuotu puutavara haketetaan viidellä hakulla.

Kuoret huuhtoutuvat kuorintataskujen suihkuvesien mukana kolmeen kuorisihtiin, joiden reikäkoko on  $\varnothing$  3 mm. Reikien läpi suotautunut vesi joutuu kanaaliin. Kartiomaisen, pyörivän sihdin toisesta päästä putoavat kuoret johdetaan kuorimurskaimeen ja autolavoille tai kuoripuristimiin ja näistä pneumaattisesti voimalaitokselle poltettavaksi. Kuoripuristimien vesi joutuu kanaaliin.

Pöllikuljettimilla on pesurullastot, joista vesi johdetaan kuorisihdin kautta kanaaliin. Puunkäsittelystä tulevat jätevedet johdetaan kokonaisuudessaan erilliseen kuorimokanaaliin ja edelleen Saimaaseen. Jätevesimäärät ovat seuraavat (keskimäärin kahdeksan kuorintataskun suihkut ovat auki yhtäaikaan):

- kuorintataskujen suihkut	8 x 2.3 $\text{m}^3/\text{min}$	= 18.4 $\text{m}^3/\text{min}$
- pesurullastojen "	3 x 1.6 "	= 4.8 "
- lattia-, saniteetti- ym. vedet		1.8 "
	Yhteensä	25.0 $\text{m}^3/\text{min}$



### 5.1.3. Keittäminen ja pesemä

Selluloosan keitto tapahtuu kahdeksassa 160 m<sup>3</sup>:n keittokattilassa. Valkolipeän vaikuttavan alkalien pitoisuus on n. 105 g Na<sub>2</sub>O/l ja sulfiditeetti vaihtelee välillä 15-25 %. Keittoaika on n. 3 h ja saanto 50 - 55 % puulajista ja halutusta kovuudesta riippuen. Selluloosatehtaassa on kaksi erillistä massankäsittelylinjaa puskusäiliöistä lajitellun massan säiliöihin. Tavallisesti linjalla I käsitellään täysvalkaistavaa koivumassaa ja linjalla II valkaisematonta mäntymassaa. Kun koko tuotanto puolivalkaistetaan, käsitellään molemmilla linjoilla yleensä koivusellua. Kummankin puskusäiliön tilavuus on kolme keittoa.

Puskusäiliön paisuntahöyryt käsitellään seuraavissa laitteissa: lipeänerotussykloni, suihkulauhdutin ja akkusäiliö. Viimeksi mainitun yläosan kuuma vesi (80°C) pumpataan oksasihtien kautta lämmönvaihtimiin ja alaosan vesi (30°C) lämpötilasäädön ohjaamana suihkulauhduttimeen. Lämmönvaihtimilta saatu lämmin vesi käytetään suodinpesulinjojen viimeisen vaiheen pesuvetenä (1.8 - 2.0 m<sup>3</sup>/min linjaa kohden).

Puskusäiliöistä massa pumpataan esikuiduttimille ja edelleen magneettisten raudanerottimien kautta mäntymassakuiduttimelle ja koivumassa oksanerottimille. Mäntymassa jätetään keitossa yleensä melko kovaksi, joten kuidutus

on tarpeen ennen pesua. Neljä pesusuodinta ( $\emptyset$  3.5 x 4 m) on kytketty toisiinsa vastavirtapesun periaatteella. Oksat pestään kahdessa vaiheessa yhdellä pesusuotimella.

Keittämöstä ja pesemöstä tulevat jätevedet ovat määriltään pieniä, ja ne koostuvat pääasiassa poksi- ja lattiavesistä sekä mahdollisista lipeävuodoista. Nämä jätevedet virtaavat keittämökanaaleihin ja edelleen pääviemäriin (ks. viemäröintikaavio, liite 2). Ns. erillisviemäriin (liitteet 2 ja 3) joutuu akkusäiliöveden ylimäärä  $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$  sekä tärpätin emävesi  $0.08 \text{ m}^3/\text{min}$ . Lisäksi tähän viemäriin tulee valkaisimon kloorivaiheen jätevesi  $5.4 \text{ m}^3/\text{min}$ .

#### 5.1.4. Lajittamo

Massa lajitellaan ensin keskipakolajittimilla. Tämän jälkeen seuraavat kolmivaiheinen pyörrepuhdistuspatteri ja Lindblad-saostin. Käsittelyjärjestys on kummallakin linjalla sama. Valkaistu massa lajitellaan tärysihdeillä kahdessa vaiheessa. Oksien käsittelyvaiheet ovat seuraavat: kolme rinnakkaista oksajauhinta, keskipakolajitin ja kolmivaiheinen pyörrepuhdistuspatteri, josta aksepti pumpataan kartonkitehtaan käyttöön ja rejekti kanaaliin (n.  $0.2 \text{ m}^3/\text{min}$ , 1-2 t kiintoainetta/vrk). Oksamassaprosessi ei käsittele ainoastaan oksia, vaan siihen tulee massaa seuraavista kohdista:

- lajittelun 1. vaiheen rejekti
- lajittamon nollaveden Vargö-suotimien sakka
- valkaistun massan lajittelun rejekti
- vaakaselkeyttimen liete (tämä voidaan johtaa myös II-linjan pestyn massan säiliöön tai kanaaliin.)

Lajittamon kanaaleihin ja edelleen pääkanaaliin (ks. liite 2) joutuu seuraavia jätevesiä:

- Vargö-suotimien suodos
- oksapyörrepuhdistimen 3. vaiheen rejekti
- lattia- ja poksivedet
- lastuhiertämön vedet satunnaisesti
- oksamassasäiliön ylijukuksu "
- oksamassasaostimen nollavesisäiliön ylijukuksu "
- vaakaselkeyttimen liete "

Lajittamon nollaveden kierrätys selviää liitteenä olevasta Sankey-diagrammista (liite 3).

#### 5.1.5. Valkaisimo, kuivatuskoneet

Puolivalkaistun massan (väri 55 - 80° Scan) valkaisuvaiheet ovat CEHHH, ja täysvalkaistun (väri 80 - 90° Scan) CEHHDED. Valkaisukemikaalien käsittelyä ja klooridioksidin valmistusta varten on erillinen liuosasema. Täysvalkaistua massaa valmistettaessa ovat eri vaiheiden reaktio-olot seuraavat:



	C	E	H	H	D	E	D
Lämpötila °C	8-25	35-40	36-38	38-43	65-75	35-40	65-75
Sakeus ‰	4-5	10-12	10-12	10-12	11-13	10-12	11-13
Aika min	45-60	90-120	90-120	90-120	300	90-120	300

Valkaisimo saa lämpimän veden (42°C) voimalaitokselta, jossa sitä valmistetaan seuraavissa kohdin:

- haihduttamon pintalauhduttimet
- soodakattilan skrubberin lämmönvaihdin

Valkaisimo tarvitsee lämmintä vettä 13.5 m<sup>3</sup>/min.

Eri valkaisu vaiheista kanaaliin virtaavat nollavesimäärät ilmenevät Sankey-diagrammista (liite 3).

Sellun kuivatusta varten on kaksi Kamyr-ylösottokonetta. Toisen koneen yhteydessä on L-puhallinkuivaaja ja sillä käsitellään täyskuivaa täysvalkaistua tai ruskeaa vientiin tarkoitettua koivusellua. Toisella Kamyr-koneella rainataan ruskeaa mäntysellua ja tarvittaessa valkaistua koivusellua. Se on käynnissä n. kolmasosan ajasta.

#### 5.1.6. Haihduttamo, soodakattila ja kaustistamo

Laihamustalipeä syötetään haihduttimiin järjestyksessä 4-5-6-3-2-1, jolloin vaiheisiin 1 ja 2 johdetaan primäärihöyryä. Haihduttamon kapasiteetti on 107 t H<sub>2</sub>O/h. Haihduttimien jälkeen höyryt käsitellään ensin kahdessa pintalauhduttimessa, joista ne joutuvat suihkulauhduttimen

kautta tyhjöpumppuun. Pintalauhduttimien ja suihkulauhduttimen likaislauhteet sekä sekundäärilauhteet ja tyhjöpumpun tiivistevesi johdetaan keräilyssäiliöön, josta vesi pumpataan haihduttamon ilmastustorniin ylijuoksun mennessä kanaaliin.

Soodakattila on CE-tyyppinen, ja sen teho on 680 t kuiva-ainetta/vrk. Käyttöpaine on  $84 \text{ kp/cm}^2$ , höyryn lämpötila  $483^\circ\text{C}$  ja höyryn kehitys 97 t/h. Mustalipeän kuiva-aine harpan jälkeen on 68 %.

Voimalaitoksella on lisäksi kaksi korkeapainehöyrykattilaa, jotka käyttävät polttoaineenaan öljyä ja kuorta. Niiden höyrytystehot ovat 85 t/h ja 25 t/h. Sooda- ja apukattiloiden suurimmat jätevesimäärät muodostuvat erilaisista jäähdytys- ja poksivesistä. Erillisestä syöttöveden käsittelylaitoksesta tulee myös pieniä määriä jätevesiä (ks. liitteet 2 ja 3).

Meesauunin teho on 150 t  $\text{CaO}$ /vrk. Savukaasut puhdistetaan ja niiden lämpö otetaan talteen venturi-tyyppisessä savukaasupesimessä. Kaustistamolta tulevat jätevedet ovat pääasiassa jäähdytys- ja poksivesiä.

### 5.1.7. Kartonkitehdas

Ka 5 on Inverform-tyyppinen kartonkikone, jolla voidaan tehdä viisikerroskartonkia. Koneen leveys on 5 100 mm ja leikattu leveys 4 950 - 5 050 mm. Suurin käytetty nopeus on 330 m/min. Pintakerroksen massa jauhetaan kahdessa vaiheessa ja väli- ja pohjakerrosten massat yhdessä vaiheessa. Kartonkikoneen tuotteet ovat erilaisia liner-kartonkeja, taivekartonkia ja ns. pullo- ja tynnyrikartonkia, ja pintapaino vaihtelee välillä 180 - 450 g/m<sup>2</sup>.

Pk 7 on paperikone, jonka leveys on 2 600 mm ja nopeus 350 - 450 m/min. Jauhatus suoritetaan kolmessa vaiheessa, ja jauhatusaste on 80 - 85°SR. Koneella valmistetaan pääasiassa kertakäyttöhiilipaperia, laakerikäärettä, kaapelikehruupaperia ja betonoimispaperia. Pintapaino vaihtelee välillä 20 - 40 g/m<sup>3</sup>.

Kartonkitehdas tarvitsee raakavettä n. 40 m<sup>3</sup>/min. Suurin osa pumpataan seuraavaan kahteen kohteeseen:

- suihkuvedet viira- ja puristinosalla (määrä 15 - 20 m<sup>3</sup>/min)
- Nash-imupumppujen rengasvedet (määrä 6 - 10 m<sup>3</sup>/min).

Vähäisempiä määriä vettä tarvitaan mm. seuraavissa kohteissa:

- lähes kaikkien vesisäiliöiden pinnankorkeuden varmistus
- pesuissa ja käyntiinlähdössä tarvittava raakavesi
- poksivedet
- suihkulauhduttimen vesi



- päällystyspastakeittiön ja päällystyskoneen vedet
- pesuletkutukset, kemikaalien laimennus ym.

Kartonkitehtaan viemäröinnissä on erotettavissa kaksi erillistä verkostoa: tunnelitason lattiaviemärit ja kanaalit (liite 2). Jäljempänä esitetään luettelomaisesti eri haaroihin tulevat vedet. Virtausmääriä on vaikea mitata niiden vaihtelun ja virtausten ajoittaisuuden vuoksi.

Ensin on syytä selvittää kartonki- ja paperikoneiden nollavesijärjestelmiä. Kartonkikoneessa märän pään lyhyen kierron nollaveden ylimäärä virtaa I-nollavesisäiliöön, valmistettavasta laadusta riippuen osittain myös II-nollavesisäiliöön. I-nollavesisäiliöstä on ylijouksu II-nollavesisäiliöön ja tästä edelleen III-nollavesisäiliöön. Viimeksi mainittuun tulee ylijouksu myös III-suihkuvesialtaasta.

Pk 7:n lyhyen kierron nollavesiylimäärä virtaa nollavesisäiliöön ( $0.6 \text{ m}^3/\text{min}$ ), johon tulee myös massan Lindblad-saostimen nollavesiylimäärä ( $0.3 \text{ m}^3/\text{min}$ ). Kanaaliin joutuu nollavettä  $0.1 \text{ m}^3/\text{min}$  ja kiertoön, sakeussäätöön ja laimennuksiin  $0.8 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Ka 5 - kanaali

- |                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| - III-saostajan nollaveden ylijouksu |           |
| - III-nollavesisäiliön ylijouksu     | ajoittain |
| - massan keräilykyypin ylijouksu     | "         |
| - pulpperimonttujen tyhjennys        | "         |

Pk 7 - kanaali

- massojen huuhtelu lattioilta ym.
- Pk 7:n nollavesisäiliön ylijouksu
- Eimco-saostimen nollavettä
- Ka 5:n jätepaperikäsittelyn pyörrepuhdistajien 3. vaiheen rejekti

Ka 5 - lattiaviemäri

- hierresaostimen nollavettä ajoittain
- perälaatikkojen lukkovedet "
- pulpperien poksivedet "
- hierrerainaimen ja Pk 7:n imupumppujen vedet
- pastakeittiön ja päällystyskoneen jätevedet
- nollavesisäiliöiden tyhjennykset ajoittain
- huuhtelu, vuodot, pesut ym.

Nash-imupumppujen lattiaviemäri

- Ka 5:n imupumppujen vedet
- pesuvedet eri tasoilta
- Ka 5:n lattiaviemärikaivosta

Pumppaus lattiaviemärikaivosta

- sisältää myös saniteettivesiä

Eri kanaalien ja viemäreiden keskimääräiset virtausmäärät ilmenevät liitteen Sankey-diagrammista (liite 3).

## 5.2. Vedenkäsittely ja -laitteet

### 5.2.1. Raakavesi

Raakaveden pumppausasema on sijoitettu n. 2 km:n päähän tehtaasta Vuoksen länsipuolelle (ks. liitteen 1 kartta). Syynä tähän on veden parempi laatu, sillä Kaukopäästä päin virtaava vesi on pahasti pilaantunutta. Pumppausaseman laitteet on jaettu kahteen rinnakkaiseen kammio-ryhmään, joiden tehot ovat  $120 \text{ m}^3/\text{min}$ . Molemmat ryhmät ovat tavallisesti käytössä, mutta ne voidaan erottaa linjasta korjausten, tarkastusten ym. vuoksi.

Kumpaankin kammior ryhmään kuuluu seuraavat laitteet:

- yhteiset karkeavälvät, raot 50 mm
- hienovälppä, raot 10 mm
- pyörivä verkkoseula 4 lankaa/cm
- luukkuvaroventtiili
- kaksi raakavesipumppua,  $Q = 80 \text{ m}^3/\text{min}$ ,  $H = 50 \text{ m}$

Lisäksi pumppausasemalla on raakaveden kloorauslaitteet. Klooria syötetään  $5 \text{ mg/l}$ , ja tehtaalle tulevassa vedessä sitä saa olla korkeintaan  $0.3 \text{ mg/l}$ .

Pumppausasemalta johtaa tehtaalle Bonna-putki, kooltaan  $\varnothing 2.5 \text{ m}$ . Siinä on seuraavat haarat:

- |                                 |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|
| - vanha Tainionkosken tehdas    | $\varnothing 800 \text{ mm}$  |
| - selluloosatehdas              | $\varnothing 2000 \text{ mm}$ |
| - voimalaitos ja kartonkitehdas | $\varnothing 1800 \text{ mm}$ |
| - puunkäsittely                 | $\varnothing 1500 \text{ mm}$ |
| - vedenkäsittelyosasto          | $\varnothing 800 \text{ mm}$  |



Pumppausaseman valvonta tapahtuu kauko-ohjauksella vedenkäsittelylaitokselta. Verkstopaineen tasaamiseksi on voimalaitoksella  $800 \text{ m}^3$ :n paineentasaussäiliö, johon on myös sijoitettu pinnanvaihteluiden mukaan toimiva raakavesipumppujen kauko-ohjaus.

Vedenkäsittelylaitoksella puhdistetaan raakavettä höyrykattiloiden syöttövedeksi. Puhdistuslaitteisto käsittelee vettä  $1.25 \text{ m}^3/\text{min}$ . Liuennut ja kolloidinen aines saostetaan pystyselkeyttimessä. Primäärisenä flokkauskemikaalina käytetään natriumalumiinaattia ja alunaa ja flokkausapuaineena tarvittaessa Flockningslim -nimistä liima-ainetta. Pystyselkeyttimen ylijuoksu suodatetaan kvartsihiekkasuotimissa. Suotimia on kaksi, ja kumpikin pystyy käsittelemään koko vesimäärän. Suodatuksen jälkeen suoritetaan täyssuolanpoisto kolmessa peräkkäisessä ioninvaihtimessa, jotka ovat seuraavat: kationinvaihdin, vahva anioninvaihdin ja heikko anioninvaihdin. Ioninvaihtimia on kolme rinnakkaista sarjaa.

Valkaisimon tarvitsema raakavesi suodatetaan vielä kahdella viirasuotimella, joiden kapasiteetti on  $20 \text{ m}^3/\text{min}/\text{suodin}$  ja viiran tiheys  $20 \text{ lankaa}/\text{cm}$ . Tämä vesi kelpaa myös täysvalkaisun viimeisten valkaisuvaiheiden tarvitsemaksi raakavedeksi.

### 5.2.2. Jätevesi

Selluloosatehtaan lajittamon Lindblad-saostimilta vapautuvasta nollavedestä osa joutuu ns. ruskean nollaveden säiliöön ja edelleen kiertoon. Pääosa vedestä virtaa Vargö-merkkisille nollavesisuotimille (ks. Sankey-diagrammi, liite 3). Niitä on neljä rinnakkain, ja kunkin teho on n.  $7.5 \text{ m}^3/\text{min}$  suodatettua vettä. Viiran tiheys on 47 lankaa/cm. Suotautunut vesi joutuu kanaaliin ja talteen saadut kuidut johdetaan oksamassan käsittelyyn. Suodatuksessa ei käytetä apuna priimakuituja. Selluloosatehtaan muut jätevedet johdetaan käsittelemättöminä vesistöön.

Kartonkitehtaan III-nollavesisäiliöstä ja kartonkitehtaan kanaalista pumpataan kuitupitoista jätevettä Enso-Eimco-merkkiselle vaakaselkeyttimelle. Sen mitat ovat seuraavat:

- $\varnothing$  31.8 m
- syvyys keskimäärin 4 m
- vesitilavuus n.  $4\,200 \text{ m}^3$
- selkeytyspinta  $765 \text{ m}^2$
- pintakuorma  $1.7 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  syöttömäärän ollessa  $22 \text{ m}^3/\text{min}$
- lietteen poisto jaksottainen, keskimäärin  $0.4 \text{ m}^3/\text{min}$  eli 1.8 % syötöstä.

Liete pumpataan sellutehtaalle. Sen sakeus vaihtelee välillä 0.8 - 1.4 %. Lietteen käsittelyä on selostettu kohdassa 5.1.4. Selkeyttimen ylijouksu virtaa kanaaliin.

Vaakaselkeyttimen liete joudutaan pumppaamaan molempien linjojen käsitellessä koivumassaa joskus kanaaliin, sillä liete vaikeuttaa suotautumista oksamassasaostimella. Tällöin oksamassalinjan kapasiteetti pienenee niin, että osa massasta virtaa ylijooksuna kanaaliin.



### 5.3. Vesimäärät ja kuormitukset

#### 5.3.1. Raakavesi

Tehtaan raakaveden tarve on noin  $150 \text{ m}^3/\text{min}$ , joka jakautuu eri tehdasosastojen kesken seuraavasti (määrät on laskettu ja arvioitu tehdasraporteista ja jätevesimääristä):

Vesimäärä $\text{m}^3/\text{min}$	
kuorimo	25
pesemö	5
lajittamo	36
valkaisimo	6
haihduttamo	16
voimalaitos + kaustistamo	10
kartonkitehdas	40
erittelemätön	<u>12</u>
yhteensä	150

Raakaveden analyysiarvot ovat seuraavaa luokkaa:

pH	7.6
KAP	0.4 mg/l
haihd.jäännös	35.0 "
hehkutusjäännös	28.0 "
hehkutushäviö	7.0 "
$\text{KMnO}_4$	31 "
$\text{BHT}_5$	1.2 "
väri	28.6 mgPt/l

$\text{KMnO}_4$ :n,  $\text{BHT}_5$ :n ja värin osalta arvot ovat Enso-Gutzeit Osakeyhtiön Ympäristönsuojelulaboratorion tekemien määritysten tuloksia. Vesinäytteet on otettu Saimaalta pumpausaseman läheltä. Tulokset ovat yhdeksän määrityksen keskiarvoja heinäkuun 1970 ja toukokuun 1971 väliseltä

ajalta. pH, KAP ja hehkutushäviö on määritetty 23.3.1971 tehtaalla otetusta näytteestä. Analyysimenetelmät esitellään jäljempänä kohdassa 6.2.4.

### 5.3.2. Jätevesi

Taulukon 6 analyysi- ja kuormitusarvot ovat peräisin seuraavista määrittelyksistä:

- helmikuussa 1971 suoritettu jätevesien kartoitus, jolloin yhdeksästä eri pisteestä otettiin kustakin kolme näytettä 2 - 7 päivän väliajoin
- laboratorio- ja pilot plant -selkeytyskokeiden yhteydessä suoritettut määrittelykset maaliskuusta - kesäkuussa 1971
- Ympäristönsuojelulaboratoriossa viikottain suoritettavat  $\text{BHT}_5$ - ja  $\text{KMnO}_4$ -määrittelykset. Pää-, erillis- ja kuorimoviemärien  $\text{BHT}_5$ - ja  $\text{KMnO}_4$ -arvot ovat vuoden 1971 tammi - kesäkuun keskiarvoja
- pää-, erillis- ja kuorimoviemärien kiintoainepitoisuudet ovat tehtaan laboratoriossa tammi - kesäkuussa 1971 sininauhasuodatinpaperilla suoritettujen määrittelysten keskiarvoja. Muut suodatukset on tehty membraanisuoittimella.

Taulukko 6 Jätevesien analyysi- ja kuormitusarvoja

Näyte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH	8.7	9.7	9.1	6.4	6.2	6.6	7.2	7.7	2.2	2.4	8.6	6.9
Q	m <sup>3</sup> /min	30	4.0	4.7	9	22	17	118	5.4	6.0	18.4	25
KAP	mg/l	41.4	148	35.0	285	224	61.9	74.0	102	107	228	159
	t/vrk	1.8	0.9	0.2	3.7	7.1	2.0	1.8	17.4	1.1	0.9	5.7
Hekikutushäviö	mg/l	334	747	559	127	48.5	93.5	50.5	225	338	441	77.0
	t/vrk	14.4	4.3	3.8	1.6	1.5	3.0	1.2	38.2	2.6	3.8	2.0
KMnO <sub>4</sub>	mg/l	874	1660	570	831	109	227	120	774	459	526	183
	t/vrk	37.8	9.6	3.9	10.7	3.5	7.2	2.9	131	3.6	4.5	12.0
BHT <sub>5</sub>	mg/l	173	266	98.5	223	101	52.8	41.0	275	185	665	40.1
	t/vrk	7.5	1.5	0.7	2.9	3.2	1.7	1.0	47	1.4	5.7	1.1
Väri	mg Pt/l	581	1750				106					57.0

- Näytteet: 1. Vargö-suotimien jälkeen 7. Kartonkitehtaan lattiaviemäri  
2. Valkaisimo IE 8. Pääviemäri  
3. Valkaisimo IH 9. Valkaisimo C  
4. Kartonkitehtaan kanaali 10. Erillisviemäri  
5. Vaakaselkeyttimen syöttö 11. Kuorisuodinallas  
6. Vaakaselkeyttimen ylijouksu 12. Kuorimoviemäri  
Näytteenottopisteiden sijainti viemäröinnissä selviää liitteistä 2 ja 3.



Liitteessä 3 on jätevesivirtauksista piirretty Sankey-diagrammi, joka perustuu selluloosatehtaan kuitulinjan ja kartonkitehtaan osalta vuosina 1968 ja 1969 sekä talteenottolinjan osalta vuonna 1970 tehtyihin mittaussarjoihin ja laskelmiin.

Saimaan vesistön tilaa Vuoksen suun tienoilla kuvaavat taulukon 7 analyysiarvot. Määritykset on tehty Ympäristönsuojelulaboratoriossa, ja arvot ovat heinäkuun 1970 ja toukokuun 1971 välisenä aikana tehtyjen määritysten tuloksia. Pekonsaaren luota (ks. liitteen 1 kartta) otettu näyte vastaa Saimaalta virtaavaa vettä ennen tehtaitten jätevesien sekoittumista siihen, Niskakoskessa Vuoksen suulla ovat Kaukopään tehtaitten jätevedet mukana ja Mansikkakosken kohdalla lisäksi Tainionkosken tehtaitten jätevedet. Vuoksen virtaama on ollut tänä aikana keskimäärin  $533 \text{ m}^3/\text{s}$  (KOISTINEN 1971).

Taulukko 7 Saimaan vesistön tila Vuoksen suulla

	BHT <sub>5</sub>		KHT		Väri
	mg/l	t/vrk	mg/l	t/vrk	mg/Pt/l
Pekonsaari 9 näytettä	1.2	54	7.8	359	28.6
Niskakoski 23 näytettä	2.0	94	8.7	407	32.8
Mansikkakoski 23 näytettä	3.1	145	9.4	436	34.5

## 6. KOKEIDEN SUORITUS

### 6.1. Tutkittavien vesijakeiden valinta

Ensimmäisenä tutkimuskohteena oli Vargö-suotimilla suodattettu lajittamon jälkeisen saostimen nollavesi. Sitä voidaan pitää laimennettuna mustalipeänä, ja se sisältää puusta keitossa liuenneita aineosia. Vargö-veden osuus selluloosatehtaan jätevesien aiheuttamasta kuormituksesta on seuraava:

- virtaus	30 %
- KAP	11 %
- hehkutushäviö	38 %
- KHT	30 %
- BHT <sub>5</sub>	15 %

Valkaisimon alkalivaiheen nollavesi on väriltään hyvin tummaa ja värjää yhdessä Vargö-veden kanssa pahiten purkuvesistöä. Pienen virtauksen ansiosta muu kuormitus ei ole edellisen Vargö-veden luokkaa (arvot ilmaisevat osuutta sellutehtaan jätevesistä):

- vesimäärä	4 %
- KAP	5 %
- hehkutushäviö	11 %
- KHT	8 %
- BHT <sub>5</sub>	3 %

Kartonkitehtaaseen liittyvän vaakaselkeyttimen ylijuoksu sisältää melko paljon liuennutta orgaanista ainetta, joten myös sen kemiallista puhdistusta kokeiltiin. Liuennut aine on peräisin massaan pesun ja lajittelun jälkeen jääneestä liukenevasta osasta sekä jauhatuksessa liukenevista massan komponenteista. Ylijuoksun osuus kartonkitehtaan jätevesien aiheuttamasta kuormituksesta on seuraava:

- vesimäärä	46 %
- KAP	27 %
- hehkutushäviö	52 %
- KHT	35 %
- BHT <sub>5</sub>	30 %

Vaakaselkeyttimen syöttö sisältää runsaasti kuitua, ja tällä vedellä kokeiltiin kiintoainehiukkasten ja kemiallisten flokkien samanaikaista laskeutusta.

Kuorimovedet sisältävät pääasiassa kuoresta ja puusta peräisin olevia kiintoainepartikkeleita, mutta kuorinnan yhteydessä tapahtuu myös kuoriaineen liukenemistä. Jäteveden sisältämä liuennut orgaaninen aines on kuitenkin melko vähäinen, sillä se ei pääse rikastumaan veteen kierätyksen puuttuessa kokonaan. Teknillisten vaikeuksien vuoksi ei kuorimon pääkanaalin vettä voitu tutkia, vaan yesi otettiin kuorisihtien altaasta. Tämän veden aiheuttama kuormitus ilmaistuna prosentteina sellutehtaan jätevesistä on seuraava:



- vesimäärä	18 %
- KAP	36 %
- hehkutushäviö	5 %
- KHT	4 %
- BHT <sub>5</sub>	2 %

Eri jätevesijakeiden osuudet kiintoainekuormituksesta ovat jonkin verran todellista suurempia, koska pääviemäreiden kiintoainepitoisuudet on määritetty sininauhasuodinpaperilla ja eri jakeiden kiintoainepitoisuudet membraanisuotimella. Jälkimmäinen saattaa antaa etenkin sellutehtaan jätevesillä yli 1.5-kertaisen tuloksen sininauhapaperiin verrattuna.

## 6.2. Koelaitteisto ja kokeiden suoritustapa

### 6.2.1. Koepystyselkeytin



Kuva 7 Koepystyselkeytin

Jätevesijakeiden puhdistusta tutkittiin Teknillisen korkeakoulun Passavant-koepystyselkeyttimellä. Sen allas on 5 mm:n teräslevystä valmistettu 3.5 m korkea sylinteri (ks. kuva 7 ja liite 4), jonka halkaisija on 2 m ja vesitilavuus  $8 \text{ m}^3$ . Paino tyhjänä on 3.1 tn. Sylinterin päällä ovat sekoituskierukan ja lietelaahaimen moottorit ja kierroslukusäätimet. Selkeyttimessä on putkiyhteet sisäänsyöttöä, ylijooksua, lietteenpoistoa ja laitteen sisälle tapahtuvaa kemikaalisyöttöä varten. Sylinterin kupeessa on sähkötaulu, jossa on pistorasiat laahaimen,

kierukan, syöttö- ja lietepumpun sekä annostelupumppujen moottoreita varten. Sähkötaulun yhteydessä on myös kellokoneisto jaksottaisesti toimivaa lietepumppua varten.

Jätevesi tulee sisään laitteen pohjasta ja joutuu sisimpään sekoitussylinteriin (1, ks. kaavio liitteessä 4), jossa pyörivä kierukka nostaa sitä ylöspäin. Sisimmän sylinterin yläpäässä on neljä ikkunamaista aukkoa, korkeudeltaan 30 cm, joista vesi virtaa sisempään ja ulompaan reaktiovyöhykkeeseen (2 ja 3). Näitä vyöhykkeitä erottavan sylinterivaipan kartiomaista helmaa nostamalla ja laskemalla voidaan säätää veden jakautumista sisempään ja ulompaan reaktiovyöhykkeeseen. Sylinterin alapäähän virrannut vesi joutuu sisemmästä sekoitusvyöhykkeestä takaisin sekoitussylinteriin. Näin jo muodostuneet flokit parantavat sisääntulevan veden flokinmuodostusta, kun flokkausainelisäyksen jälkeen muodostuneet mikroflokkit tarttuvat jo muodostuneisiin flokkeihin. Optimaalinen flokkautuminen saavutetaan, kun kierrätys on 3-5-kertainen sisääntulevaan veteen verrattuna. Kierrätystä voidaan säätää edellä mainittua helmaa ja sekoittajakierukan nopeutta säätämällä.

Sisemmän ja ulomman reaktiovyöhykkeen välissä olevan sylinterivaipan alahelmaa voidaan myös nostaa ja laskea. Sillä säädetään sylinterin alaosan sekoitusoloja, lähinnä ulomman reaktiovyöhykkeen veden joutumista sekoitussylinteriin ja sisemmän vyöhykkeen veden virtaamista pois



kierrätyksestä. Ulommasta reaktiovyöhykkeestä vesi virtaa säädettävän helman alitse erottumis- ja selkeytymisvyöhykkeeseen (4). Siinä vesi virtaa ylöspäin ja flokit pyrkivät laskeutumaan vastavirtaan. Nämä muodostavat lietekerroksen, johon takertuu pienempiä flokkeja ja kiintoainehiukkasia veden virratessa läpi. Veden selkeytysvyöhykkeessä tapahtuvan ylösvirtauksen nopeus ja siis laitteen kapasiteetti riippuvat flokkien laskeutumisnopeudesta. Lisäksi veden puhdistuminen on riippuvainen paitsi flokkaukemikaaliannoksesta myös kierrätyksen konsentraatiosta (HAGEL 1967).

Lietelaahain vetää pohjalle laskeutuneen lietteen kohti keskiötä, josta se pumpataan jaksottaisesti tai jatkuvasti pois. Osa lietteestä palautuu takaisin kierrätykseen kasvattaen reaktiovyöhykkeen konsentraatiota. Puhdistunut vesi virtaa ylijouksukouruihin ja keräilykourua myöten pois.

Jotta saataisiin kuva pystyselkeyttimeen liittyvistä muista laitteista, seurataan veden kulkua jätevesipisteestä laitteeseen ja siitä pois. Syöttöpumppu on Jabsco-merkkinen lokeropumppu. Se painaa veden selkeyttimen sivussa ylhäällä olevaan laatikkoon. Tämän sisääntulo-putkeen syötetään pH:n säätökemikaali ( $\text{NaOH}$  tai  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ja tämän jälkeen flokkaukemikaali (aluna, ferrikloridi tai kalkki) onttohartisen ja rei'itetyllä siipipyörällä varustetun sekoittajan avulla. Kemikaalit sekoittuvat veden sen virratessa laatikossa olevien väliseinien yli

ja ali. Tästä laatikosta vesi virtaa edelleen hieman alempana selkeyttimen kyljessä olevaan toiseen laatikkoon. Laatikon keskellä on ulosvirtausputki, jonka ympärillä on sylinteri sekoituksen parantamiseksi ja pH-mittauksen stabiloimiseksi. Näiden välissä on pH-mittarin anturi, josta lähtevä signaali johdetaan vahvistimen kautta säätöyksikköön, joka ohjaa pH:n säätökemikaalipumppua. Laatikosta lähtevä vesi virtaa selkeyttimeen.

Primäärinen flokkauskemikaali ja flokkausapuväline syötetään Lewa-merkkisillä annostelupumpuilla, jotka on konstruoitu suoraan kemikaalisäiliöiden päälle. Pumpuissa on edestakaisin liikkuva mäntä, jonka iskunpituutta ja siis virtausta voidaan säätää mikrometriruuvilla. Primäärisellä flokkausaineella on 200 l:n säiliö, ja sen syöttökohta on kuvattu edellä. Flokkausapuväinettä varten on 100 l:n säiliö ja sitä voidaan syöttää selkeyttimen sekoitussylinteriin tai jompaankumpaan laatikkoon.

Ylijuoksu virtaa selkeyttimestä mittausastiaan, jonka pohjassa on läpällä suljettava ulosvirtausaukko virtauksen määrittämistä varten. Säiliössä on pH-anturi ylijuoksun pH:n mittausta ja fotometrisesti toimiva sameusanturi ylijuoksun sameuden mittausta varten.

Liete pumpataan Jabsco-merkkisellä lokeropumpulla ulos selkeyttimestä. Kellokoneistolla voidaan säätää erikseen pumpun käyntiaika ja seisona-aika.

Laitteiston instrumentointi koostuu, paitsi edellä mainituista mittausantureista, kahdesta pH- ja yhdestä sameusvahvistimesta. Mittausarvot voidaan lukea piirturista. Sisäänmenevän veden pH:n säätöjärjestelmään kuuluu lisäksi säätöyksikkö, joka on PI-tyyppinen. Siitä lähtevä ohjaussignaali säätää pH-säätökemikaalia pumppaavan letkupumpun kierroslukua.

#### 6.2.2. Selkeytyskokeiden suoritus

Kun laboratoriokokeilla on määritetty tutkittavan veden optimi-pH ja -annos, voidaan suorittaa pilot-plant -mitta-kaavainen selkeytyskoe. Syöttöpumpun variaattorista säätämällä saadaan haluttu virtaus ja siis pintakuorma. Virtauksen mukaan säädetään myös primäärisen flokkausaineen ja flokkausapuaineen virtaus annostelupumppujen mikrometri-ruuvilla. Lietteen poisto säädetään halutuksi käynti- ja seisonta-aikoja muuttamalla. (Tainionkoskella suorituissa selkeytyskokeissa oli lietteen poisto  $\leq 10\%$  ylijuoksun määrästä.) Sisäänmenevän veden pH säädetään käsi-ohjauksella haluttuun arvoon, jonka jälkeen säätöautomaatiikka voidaan kytkeä toimintaan.

Selkeyttimen vesikorkeudesta ja pintakuormasta voidaan laskea veden teoreettinen viive selkeytyssylinterissä. Kokeissa otettiin ensin tunnin väliajoin näytteitä sisään-

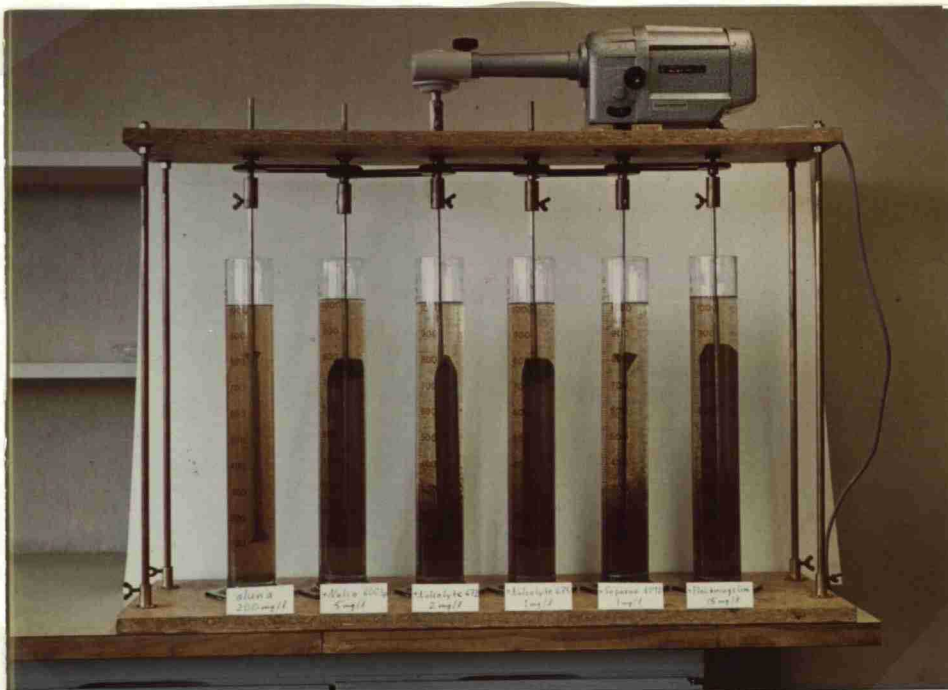


menevästä vedestä. Viiveajan kuluttua otettiin näytteitä ylijuoksusta, lietteestä ja sekoitussyylinterin lietteestä tunnin väliajoin yleensä neljän tunnin ajan. Laitetta pyrittiin pitämään käynnissä jatkuvasti, niin että kun illalla muutettiin pintakuorman arvoa tai vaihdettiin flokkauskemikaalia, oli tilanne aamulla jo täysin stabiili. Kaikissa tapauksissa ei ollut mahdollista pitää laitetta käynnissä yön yli, esim. kalkkisaostuksessa kalkkilietteen suuren syöttömäärän ja tukkeutumisvaaran vuoksi.

Selkeytyskokeissa otetuista näytteistä tehtiin seuraavat analyysit: Syötöstä ja ylijuoksusta määritettiin suodatusjäännös ja suodoksesta  $\text{KMnO}_4$ -kulutus. Eri aikoina otettujen näytteiden suodoksista tehtiin keräilynäytteet, joista määritettiin väri, sameus sekä haihdutus- ja hehkutusjäännökset. Lisäksi otettiin syötöstä ja ylijuoksusta näytteet suoraan happipulloihin  $\text{BHT}_5$ :n määrittystä varten. Keräilynäyte analysoitiin yleensä vain ns. onnistuneiden puhdistuskokeiden yhteydessä, eli kun ylijuoksun kiintoainepitoisuus oli pienempi kuin syötön.  $\text{BHT}_5$ -määritykset tehtiin Ympäristönsuojelulaboratoriossa. Niiden "kiintiö" oli neljä näytettä viikossa, joten kaikista kokeista ei ollut mahdollista saada  $\text{BHT}_5$ -määrityksiä.

Selkeytyskokeita suoritettiin kutakin flokkauskemikaalia käytettäessä useilla eri pintakuormilla. Näin voidaan seurata ylijuoksun kiintoainepitoisuuden ja  $\text{KMnO}_4$ -reduktion muuttumista pintakuorman funktiona ja löytää optimaalinen pintakuorma.

### 6.2.3. Laboratorioselkeytyskokeiden suoritus



Kuva 8 Laboratorioselkeytyksissä käytetty koelaitteisto

Laboratoriomittakaavaiset selkeytyskokeet tehtiin lapasekoittajalla (kuva 8), jolla voitiin sekoittaa yhtäaikaan kuudessa 1 l:n mittalasissa olevia näytteitä. Näyte, josta ylimääräinen ilma oli poistettu seisottamalla yli yön, kaadettiin mittalaseihin. Seisotus oli välttämätön näytteen muuttumisen uhallakin, sillä muuten selkeytyskokeissa osa flokeista nousi ilmakuplien mukana pintaan. Pika-ilmanpoisto lämmittämällä ei poistanut kaikkea ylimääräistä ilmaa.

Ensiksi määritettiin optimi-pH. Mittalaseihin lisättiin sellainen määrä flokkauskemikaalia, että koaguloituminen

varmasti tapahtui. Tämän jälkeen pH säädettiin lipeällä tai rikkihapolla niin, että muodostui 5 - 6 näytteen sarja, jossa pH vaihteli peräkkäisten näytteiden välillä 0.2 - 0.3 pH-yksikköä. Sarjalla pyrittiin kattamaan oletetun optimi-pH:n ympäristö. Kemikaalien lisäysvaiheessa oli sekoituslapojen pyörimisnopeus n. 100 r/min. Tämä oli kuitenkin pH:n säädössä liian hidas, joten sekoitus suoritettiin kaatelemalla näytettä astiasta toiseen. Sekoitusvaihe kesti 10 - 15 min.

Hämmennysvaiheessa oli lapojen pyörimisnopeus n. 10 r/min ja hämmennys kesti 20 min. Tämän jälkeen sekoittaja pysäytettiin, lavat otettiin pois ja näytteitä seisotettiin 30 min. Pohjalle laskeutuneen lietteen tilavuus merkittiin muistiin ja selkeytyneestä vedestä otettiin näytteet. Niistä määritettiin kiintoainepitoisuus ja suodoksesta  $\text{KMnO}_4$ -kulutus, sameus ja väri.

Kun analyysituloksista saatiin selville optimi-pH, määritettiin optimiannos lisäämällä erilaiset määrät flokkaus-kemikaalia ja säätämällä pH optimiarvoon.

#### 6.2.4. Analyysit ja mittaukset

Kaikki kokeiden yhteydessä suoritettut kiintoainemääritykset tehtiin 250 ml:n Sartorius-membraanisuodattimella. Käytetty

*suod. laite*



membraani oli tyyppiä SM125 00, jonka halkaisija on 50 mm ja huokoskoko  $\varnothing$  12  $\mu$  ja joka on valmistettu selluloosanitraatista. Suodatettava määrä arvioitiin näytteen sakeuden mukaan, niin ettei suodatusaika kasvanut kohtuuttomaksi, vaihdellen lietenäytteiden 50 ml:sta kirkaste-näytteiden 250 ml:aan.

KMnO<sub>4</sub>-määritykset tehtiin standardin KCL 90:65 mukaisesti. 100 ml:ksi laimennettuun näytteeseen lisättiin rikkihappoa ja KMnO<sub>4</sub>-liuosta. Keitettiin 10 min ja lisättiin natriumoksalaaattia, jonka ylimäärä titrattiin kaliumpermanganaatilla. Näyttemäärä valittiin niin, että KMnO<sub>4</sub>-kulutus pysyi 5 - 12 ml:n välillä. KMnO<sub>4</sub>-kulutus saadaan muutettua kemialliseksi hapen tarpeeksi (KHT) kertomalla luvulla 0.253.

Haihdutus- ja hehkutusjäännökset määritettiin Vesianalyysitoimikunnan mietinnön mukaisesti (MIETINTÖ 1968). 100 ml:n (puhtaammilla vesillä 150 ml:n) näyte haihdutettiin hiekkahauteella posliiniupokkaassa kuiviin, kuivattiin edelleen 30 min. kuivauskaapissa ja punnittiin. Hehkutus suoritettiin muhveliuunissa analyysiohjeesta poiketen 575°C:ssa (ohjeen mukaan 600 °C), koska laboratorion muut hehkutukset suoritettiin tässä lämpötilassa. Upokkaita pidettiin uunissa tunnin ajan, jonka jälkeen ne punnittiin. Haihdutus- ja hehkutusjäännösten erotuksena saadaan liuenneen haihtumattoman orgaanisen aineen pitoisuus.

Sameus- ja värimittaukset suoritettiin Fisher Electrophotometer-kolorimetrillä Ympäristönsuojelulaboratoriossa.

Käytettyjen kyvettien pituus oli 5 cm. Sameus mitattiin aallonpituudella 625 - 675 nm tislattua vettä vastaan, ja sameusarvo saatiin tunnetun väkevyyden omaavien piidioksidilietteiden ekstinktioarvoilla piirretyltä vertailusuoralta. Väri mitattiin aallonpituudella 400 - 500 nm tislattua vettä vastaan. Värimittauksessa sameus aiheuttaa jonkin verran virhettä tulokseen. Sameuden arvo on suhteessa 625 - 675 nm:n suotimella mitattuun arvoon, joten virhe voitiin eliminoida seuraavasti.

Sameusmittauksessa saadusta ekstinktioarvosta saatiin erikseen määritetyn suoran avulla ekstinktiolukema, joka vähennettiin värimittauksessa saadusta arvosta. Erotuksen avulla saatiin väriarvo mg Pt/l vertailusuoralta, joka oli määritetty tunnetun värin omaavilla koboltti-platinaattiliuoksilla.

Koska sameus- ja värinäytteet oli suodatettu 12  $\mu$ n membraanin läpi, kuvaa sameusarvo tätä pienempien hiukkas-ten kokojakautumaa.

BHT<sub>5</sub>-määritykset suoritettiin Ympäristönsuojelulaboratoriossa sen viikottaisen määrityssarjan yhteydessä.

Koska määrittystapa on yhdistelmä useammista eri analyysimenetelmistä (APHA 1955, DEUTSCHE 1968), on syytä kuvailla sitä hieman tarkemmin.

Bakteerikantaa elätetään lasisessa koripullossa. Elatusvesi on klooritonta vesistönäytteiden ylimäärävettä.

Uutta vettä lisättäessä tähän pipetoidaan fosfaattipuskuriliuosta  $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{K}_2\text{HPO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NH}_4\text{Cl}$ . Bakteerikantaa ilmastetaan voimakkaasti.

Jokaisen määrityssarjan yhteydessä tarkistetaan laimennusveden kelpoisuus lisäämällä happipulloon hieman glukooseiliuosta ja toiseen glutamiiniliuosta ja täyttämällä pullo laimennusvedellä sekä panemalla ne viideksi vuorokaudeksi termostaattiin. Jos viiden vuorokauden kuluttua määritetty happi pysyy tietyissä rajoissa, on laimennusvesi kelvollista.

Hapen määrityksessä happipullon pohjalle pipetoidaan likaisuudesta riippuen 1 - 20 ml jätevesinäytettä. Pullo täytetään laimennusvedellä, johon on lisätty hieman puskuriliuosta ( $\text{NaHCO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$ ). Lisätään mäntäpipetillä  $\text{MnCl}_2$ - ja  $\text{NaOH}$ -liuosta. Pullo tulpitetaan siten, että sisälle ei jää ilmakuplia. Sekoitetaan ja annetaan seistä 10 min sekä sekoitetaan uudelleen. Sakan laskeuduttua lisätään kyllästettyä  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ -liuosta niin, että ylimäärä kirkastetta valuu yli. Tulpitetaan ja sekoitetaan. Kun sakka on tarkkaan laskeutunut pohjalle, otetaan lapolla pois kirkastetta. Pulloon lisätään kiinteää  $\text{KJ}$ :a,  $\text{NaN}_3$ -liuosta ja  $\text{HCl}$ -liuosta. Tulpitetaan, sekoitetaan ja seisotetaan 10 min. Vapautunut jodi titrataan natriumtiosulfaatilla käyttäen tärkkelystä indikaattorina.



BHT<sub>5</sub>-määrityksessä pipetoidaan näytettä ja lisätään laimennusvettä kuten hapen määrityksessä. Pullot tulpitetaan kuplattomiksi ja viedään 20 °C:n termostaattiin viideksi vuorokaudeksi. Tämän ajan kuluttua määritetään happi, kuten edellä on esitetty. BHT<sub>5</sub> saadaan kokeen alussa ja lopussa tehtyjen happimääritysten erotuksena ottaen myös huomioon laimennusvedessä kokeen alussa ja lopussa olevat happipitoisuudet.

Laboratoriomittakaavaisten selkeytyskokeiden yhteydessä suoritettiin myös zetapotentialimittauksia Zeta-Meter-nimisellä laitteistolla. Laitteistoon kuuluu mittari- ja säätöyksikkö, muuntaja, stereomikroskooppi, kyveti, elektrodit, peilitetty kyvetin pidin, valaisin sekä tarpeelliset liitännäjohdot (ks. kuva 9).



Kuva 9      Zetapotentialimittari

22.5 °C:n lämpötilaan säädetty näyte kaadetaan kyvetiin, jonka toinen pää suljetaan anodiin liittyvällä kumikor-killalla niin, ettei sisälle jää ilmakuplia. Voidaan valita joko platina-iridium- tai molybdeenianodi. Jälkimmäinen on tarkoitettu korkean johtokyvyn omaavien näytteiden tutkimiseen, sillä Mo yhtyy anodilla muodostuvaan happeen, ja muodostunut oksidi jää elektrodin pintaan. Kaasukuplien muodostumista anodille on vältettävä, sillä pienikin lämpötilan vaihtelu aiheuttaa kaasun tilavuuden muuttumisen ja saa aikaan asiaankuulumatonta virtausta elektrodikammioita yhdistävässä putkessa. Katodi on platina-iridiumseoksesta tehty liuska.

Valonsäde suunnataan peilitetyn kyvettipitimen kautta kyvetin putkeen, jolloin kolloidihiukkaset tulevat Tyndall-ilmion vaikutuksesta mikroskoopissa näkyviksi. Elektrodien välille säädetään jännite, joka on sitä pienempi, mitä suurempi on näytteen johtokyky. Tämä voidaan mitata laitteella. Jos jännite on liian suuri suhteessa johtokykyyn, ilmenee kyvettiputkessa nesteen lämpenemisen aiheuttamia pyörteitä, jolloin neste virtaa spiraalimaisesti putken seinämiä ylös ja keskeltä alas. Mikroskoopissa näkyvän asteikon ja laitteen yhteydessä olevan sähköisen sekuntikellon avulla voidaan määrätä hiukkasten tietyn asteikkovälin kulkemiseen tarvitsema aika. Kustakin näytteestä mitataan useampien hiukkasten aika ja lasketaan keskiarvo tai mediaani. Kun tiedetään jännite, suurennus ja aika, saadaan zetapotentiaali suoraan taulukosta tai nomogrammista.

Kyvettiputkessa ilmenee nesteen virtausta keskellä kohti anodia ja reunoissa kohti katodia. Virtausprofiili on parabolinen ja nollavirtaus on etäisyydellä  $0.147 \times$  halkaisija putken reunasta. Putken laitaan konstruoidun hiusviivan ja okulaariin piirrettyjen viivojen avulla mikroskooppi voidaan suunnata niin, että mitattavien kolloidihiuukkasten virtauslinja yhtyy tähän nollavirtauslinjaan. Tällöin kolloidien liike aiheutuu pelkästään niiden zetapotentialista, eikä nesteen virtaus vaikuta asiaan (MANUAL 1968).

Muutamien selkeytyskokeiden lietteillä tehtiin suodatus-kokeita Eimco Leaf-Tester -nimisellä laitteella. Laitteistoon kuuluu pyöreä imupää, halkaisijaltaan 11 cm, johon kiinnitetään haluttu viirakangas ja joka upotetaan tutkittavaan lietteeseen. Imupäästä lähtee letku imupulloon, johon suodos kerääntyy ja johon on liitetty painemittari. Imupullon ja -pumpun välissä on vielä paineentauspullo. Kokeissa käytettiin Tampereen verkatehtaan viiraa S 1001, jonka tiheys on  $24 \times 39$  lankaa/cm. Imupäätä pidettiin näytteessä 30 sek. ja sen jälkeen ilmassa 30 sek. Alipaine oli 400 mm Hg. Määritettiin läpimennyt vesimäärä, sen kiintoainepitoisuus sekä suodinviiralle jääneen massan kuiva-ainepitoisuus.



### 6.2.5. Käytetyt kemikaalit

Selkeytyskokeissa käytettiin seuraavia kemikaaleja:

		Hinta mk/t
aluminiumsulfaatti	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$	185.-
ferrikloridi	$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	440.-
teollisuuskalkki	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	92.-
rikkihappo	93 % $\text{H}_2\text{SO}_4$	80.-
natronlipeä	100 % NaOH	235.-
Flockningslim		1950.-

Laboratoriomittakaavaisissa selkeytyskokeissa käytettiin lisäksi erilaisia polyelektrolyytinäytteitä:

	Hinta mk/kg
Reten 205	12.-
" 210	12.-
Hercofloc 812	15.-
Sedipur TF 5	13.-
" KA	4.-
Nalco 600 Sp	3-6.-
Nalcolyte 672	12-14.-
Separan NP 10	15.-

## 7. TULOKSET KOKEIDEN SUORITUSJÄRJESTYKSESSÄ

### 7.1. Lajittamon nollavesi

Taulukossa 8 ovat tulokset laboratoriokokeista, joissa määritettiin optimi-pH ja -annos alunalle ja ferrikloridille. Alunan optimiarvot ovat pH 4.5 ja annos 200 mg/l ja ferrikloridin pH 3.4 ja annos 150 mg/l. Nämä arvot selviävät oheisista graafisista esityksistä (kuva 10). Lisäksi liitteissä 5 ja 6 on valokuvia laboratoriokokeista. 2 min. ja 30 min. näissä kuvissa ilmaisevat aikaa hämmennyksen loppumisesta.

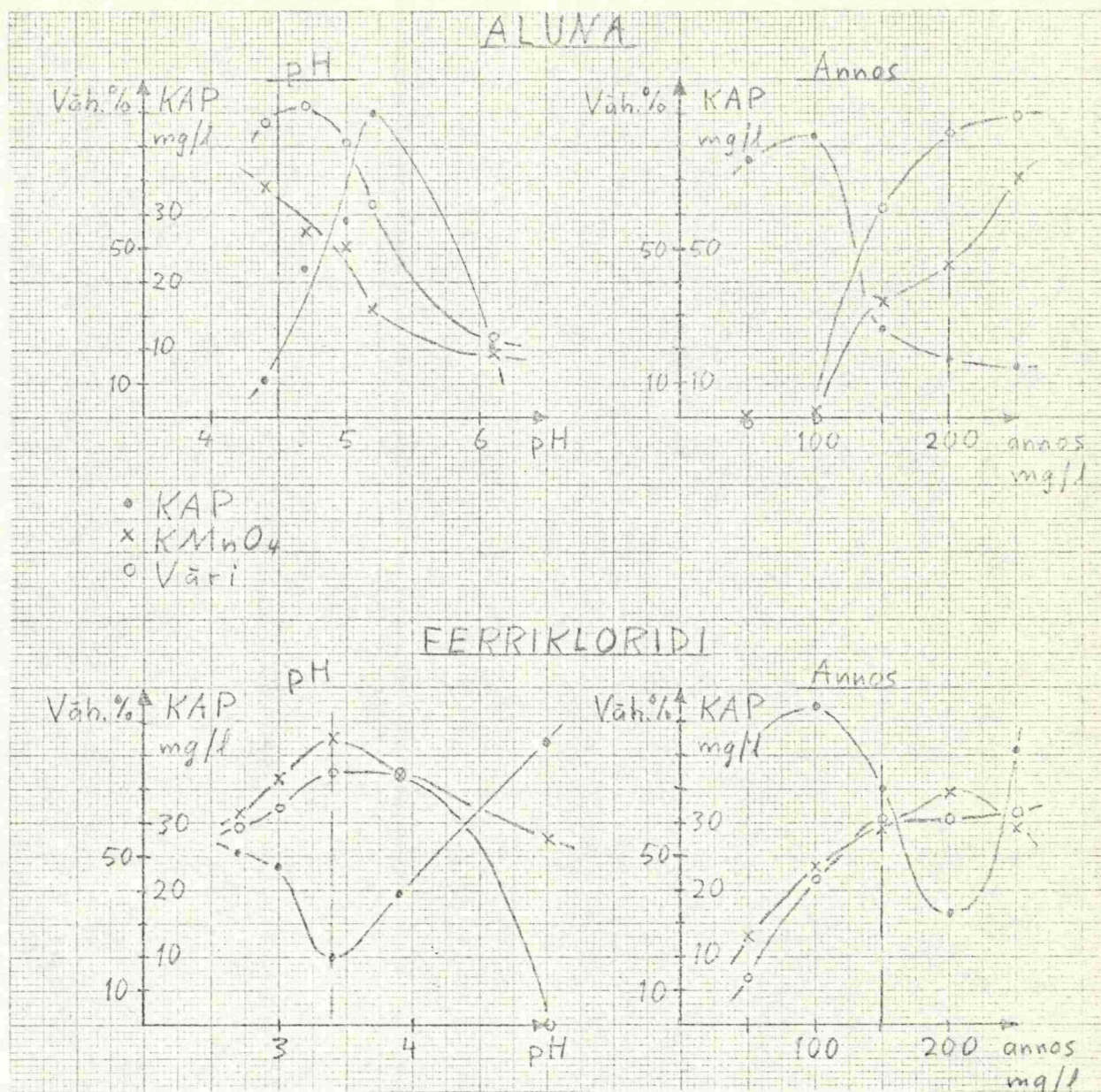
Taulukossa 8 ovat myös tulokset kokeista, joissa kokeiltiin eri flokkauskemikaalien yhteiskäyttöä. Aluksi suoritettiin laboratoriokokeet kullakin tutkittavalla kemikaalilla: alunalla, ferrikloridilla ja kalkilla erikseen käyttäen annoksia, joilla tapahtui hyvä flokkautuminen (ZP oli n. -11 mV). Seuraavaksi selkeytyskokeet suoritettiin näitä pienemmillä annoksilla. Flokkien laskeutumisen jälkeen otettiin kirkaste erilleen ja sitä käsiteltiin edelleen kahdella muulla tutkittavista flokkauskemikaaleista. Taulukkoon on laskettu  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksen perusteella  $\text{O}_2$ -poistuman kemikaalikustannukset kullakin flokkauskemikaalikombinaatiolla. Pelkän alunan käyttö osoittautuu näiden tulosten valossa edullisimmaksi. Myös värin vähenemä on paras alunalla. Kombinaatiolla ferrikloridi + aluna saavutetaan myös hyvät tulokset, mutta

tällöin tapahtuu veden värjäytymistä. Pelkällä alunalla saatava flokki on kuitenkin kevyintä, kuten kiintoainearvoista ilmenee.

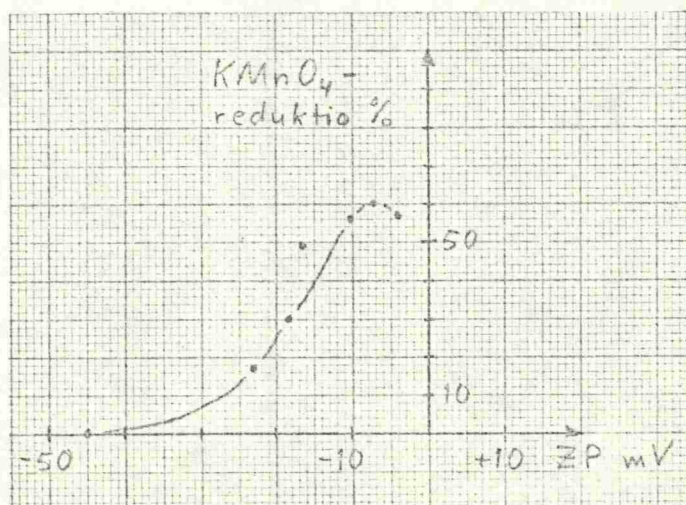
Taulukosta 9 ilmenevät prosentteina ilmaistut parannukset analyysituloksissa pelkkään alunaflokkaukseen verrattuna, kun laboratoriokokeissa käytettiin polyelektrolyyttejä apuaineina. Kokeiden suoritustapa oli muuten samanlainen kuin edellä esitetty, paitsi 0.01 - 0.1 % polyelektrolyyttiliuos lisättiin 5 - 10 min alunalisäyksen ja pH-säädön jälkeen ja sekoitusta jatkettiin vielä 5 min.

Taulukkoon lasketuista kiintoaines- ja  $\text{KMnO}_4$ -poistuman kemikaalikustannuksista nähdään, että näissä suhteissa parhaimpia ovat Reten 210 ja Separan NP 10. Sameuden ja värin poistossa nämä polyelektrolyytit eivät sen sijaan ole parhaita. Flockningslim valittiin pilot-plant -selkeytyskokeisiin sen tähden, että sen kaikki tutkitut vaikutukset olivat hyviä ja sitä oli saatavissa vapaasti, koska Flockningslimiä käytetään voimalaitoksen syöttöveden puhdistuksessa natriumaluminaatin yhteydessä. - Liitteessä 7 on valokuvia polyelektrolyyttikokeista.





**Kuva 10** Laboratoriokokeet Vargö-vedellä



**Kuva 11**  $\text{KMnO}_4$ -reduktion riippuvuus zetapotentialista.  
Vargö-veden flokkaus alunalla.

Taulukko 8 Laboratorioselkeytyskokeet Vargö-vedellä

ALUNA

pH-sarja							
pH		8.3	4.4	4.7	5.0	5.2	6.1
annos	mg/l	0	200	200	200	200	200
lietteen tilav.	ml		60	40	90	40	20
KAP	mg/l	23.6	5.6	22.0	28.8	44.8	10.4
KMnO <sub>4</sub>	"	980	316	442	490	664	790
- väh.	%		68	55	50	32	19
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	100	8.0	10.5	16.0	45.0	114
- väh.	%		92	89	84	55	0
väri	mgPt/l	512	69.0	41.0	95.5	192	408
- väh.	%		87	92	81	63	20
annossarja							
annos	mg/l	0	50	100	150	200	250
pH		8.3	4.5	4.6	4.6	4.5	4.5
lietteen tilav.	ml		0	10	50	80	80
KAP	mg/l	23.6	76.0	82.8	26.0	16.8	14.8
KMnO <sub>4</sub>	"	980	1000	960	648	539	284
- väh.	%		0	2	34	45	71
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	100	74.5	72.5	63.0	19.0	11.5
- väh.	%		25	27	37	81	88
väri	mgPt/l	512	521	535	195	81,5	58.0
- väh.	%		0	0	62	84	89

FERRIKLORIDI

pH-sarja							
pH		8.3	2.7	3.0	3.4	3.9	5.0
annos	mg/l	0	200	200	200	200	200
lietteen tilav.	ml		80	80	90	90	40
KAP	mg/l	23.6	25.6	23.6	10.0	19.6	42.0
KMnO <sub>4</sub>	"	980	363	269	142	253	442
- väh.	%		63	73	85	74	55
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	100	27.0	16.5	13.5	53.5	23.9
- väh.	%		73	83	86	46	76
väri	mgPt/l	512	210	182	129	134	625
- väh.	%		59	64	75	74	0



annossarja							
annos	mg/l	0	50	100	150	200	250
pH		8.3	3.5	3.4	3.4	3.4	3.5
lietteen tilav.	ml		30	60	80	90	90
KAP	mg/l	23.6	42.4	46.8	35.2	16.4	40.4
KMnO <sub>4</sub>	"	980	727	521	410	300	410
- väh.	%		26	47	58	69	58
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	100	107	58.5	21.0	24.0	23.7
- väh.	%		0	41	79	76	76
väri	mgPt/l	512	460	294	200	198	191
- väh.	%		14	43	61	61	63

ALUNA + FERRIKLORIDI + KALKKI

aluna-annos	mg/l	0	200	0	0	100	100	200	0	150	0
ferrikl.annos	"	0	0	150	0	100	0	50	50	0	100
kalkkiannos	"	0	0	0	2000	0	1000	0	1000	1000	1000
pH		8.8	4.6	3.7	12.0	3.7	11.6	4.5	11.8	4.7	3.6
KAP	mg/l	42.4	81.2	12.0	14.0	38.0	14.8	23.6	7.6	14.4	22.0
KMnO <sub>4</sub>	"	679	427	332	379	363	348	300	249	332	316
- väh.	%		37	51	44	47	49	56	63	51	53
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	73	5.6	10.6	10.6	14.1	6.0	6.8	2.5	4.4	23.4
- väh.			92	85	85	81	92	91	97	94	68
väri	mgPt/l	422	52.0	133	175	174	141	680	114	60.5	170
- väh.	%		88	68	58	59	67	0	73	86	60
ZP	mV	40.5	-9.3	~0	-13.2	-5.1	-4.6	~0	~0	~0	~0
Kemikaalikust.p/vesim <sup>3</sup>			3.7	6.6	18.3	6.3	11.0	5.9	11.4	11.9	13.6
KMnO <sub>4</sub> -väh.kust.	p/kgO <sub>2</sub>		58.0	75.0	241	79.0	132	61.5	105	136	148



Taulukko 9 Laboratorioselkeytyskokeet Vargö-vedellä käyttäen polyelektrolyyttejä flokkaus-apukemikaaleina

	Reten 205	Reten 210	Mercofloc 812	Sedipur TF 5	Sedipur KA	Nalco 600 Sp	Nalcolyte 672	Separan NP10	Flockningslim
varaus	+	+	+	+	+	+	-	+	+
annos mg/l	1	1	1	1	15	2	2	1	15
Tuloksen paraneminen pelkkään alunaflok- kaukseen verrattuna (alunaa 200 mg/l)									
-KAP %	33	59	77	48	90	97	91	57	54
-KMnO <sub>4</sub> %	12	13	8	6	12	5	11	18	10
-sameus %	19	0	64	17	36	33	68	49	68
-väri %	16	10	16	20	33	44	22	18	30
-lietteen tilav. %	14	20	13	8	0	0	25	15	10
kemik.kust. p/vesim <sup>3</sup>	1.2	1.2	1.5	1.3	9.0	1.0	2.6	1.5	3.0
KAP väh.kust. p/kg	180	103	92	133	474	52	146	133	268
KMnO <sub>4</sub> väh.kust. p/kgO <sub>2</sub>	139	191	286	328	1150	306	352	127	458

Taulukko 10  $\text{KMnO}_4$ -reduktion ja zetapotentialin riippuvuus aluna-annoksesta Vargö-vedellä

Annos mg/l	$\text{KMnO}_4$ mg/l	väh. %	ZP mV
0	746		- 45.0
50	616	17	- 23.3
100	521	30	- 18.3
150	375	49	- 16.5
200	329	56	- 10.2
250	297	60	- 7.2
300	322	57	- 4.1

Taulukko 11 Vargö-veden  $\text{KMnO}_4$  ja  $\text{BHT}_5$  käsiteltäessä erilaisilla flokkauskemikaalikombinaatioilla

Flokkauskemikaali ja -annos		$\text{KMnO}_4$ mg/l	väh. %	$\text{BHT}_5$ mg/l	väh. %
Vargö-vesi		746		180	
200 $\frac{\text{mg}}{\text{l}}$	aluna	376	50	94.5	47
+ 15 "	Flockningslim	376	50	93.5	48
150 "	ferrikloridi	386	48	98.1	46
+ 15 "	Flockningslim	300	60	98.9	45

Taulukko 12 Selkeytyskokeet Vargö-vedellä

	1	2	3	4.	5.	6.	7.
pintakuorma $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$	0.23	0.39	0.39				
aluna $\text{mg/l}$	200	200	200				
ferrikloridi "				150	150	150	150
Flockningslim "			15			15	15
lietteen poisto % ylijuo.	10.5	10.4	9.7	10.2	9.4	10.4	8.0
lietteen KAP $\text{mg/l}$	836	596	439	435	550	600	318
sisäsynterilietteen KAP $\text{mg/l}$	568	526	380	387	520	540	307
lietepatjan pinnankork. %	88	100	100	92	100	90	100
	Vargö Ylij. Väh%	Vargö Ylij. Väh %	Vargö Ylij. Väh%	Vargö Ylij. Väh%	Vargö Ylij. Väh%	Vargö Ylij. Väh%	Vargö Ylij. Väh%
pH	7.7 4.8	8.0 4.6	7.4	9.3 3.6	8.3 3.4	9.8 3.5	7.8 3.6
KAP $\text{mg/l}$	56.0 10.8	44.3 107	59.0	35.0 21.9	28.3 85.0	50.4 4.6	57.8 76.8
$\text{KMnO}_4$ "	863 452	1020 507	834	935 439	869 553	853 291	770 379
haidutusjäännös "	609 502	50		53	36	66	51
hehkutusjäännös "	361 401					560	
hehkutushäviö "	248 101	59				348	
sameus $\text{mgSiO}_2/\text{l}$	73 15.2	79				424 212	50
väri $\text{mgPt/l}$	490 112	77				111 31.8	71
BHT <sub>5</sub> $\text{mg/l}$						732 132	82
Na-pitoisuus $\text{mgNa}_2\text{SO}_4/\text{l}$						163 89.6	45
						364 330	9



Taulukosta 10 ilmenevät erikseen tehdyn aluna-annos-zeta-potentiaalisarjan tulokset. Näytteet valmistettiin 500 ml:n dekanterilasissa, johon lisättiin alunaa ja pH:n säätökemikaalia. Kukin piste mitattiin heti sekoituksen jälkeen, ja suodatetusta näytteestä määritettiin  $\text{KMnO}_4$ -kulutus. Näin tehtiin siksi, että laboratorioselkeytyskokeissa sekoituksen jälkeen otetuilla näytteillä oli vaihteleva viive näytteenoton ja zetapotentiaalinmittauksen välillä. Kuvassa 11 on tuloksista piirretty käyrä.

Taulukossa 11 on tulokset laboratorioselkeytyksissä saaduista kirkasteista tehdyistä  $\text{KMnO}_4$ - ja  $\text{BHT}_5$ -määrityksistä. Kokeissa käytettiin samoja flokkausaineannoksia ja -kombinaatioita kuin pilot-plant -kokeissa. Näin saadaan täydennystä selkeytyskokeissa vähäisiksi jääneisiin  $\text{BHT}_5$ -määrityksiin. Tämä koesarja ei luonnollisesti vastaa täysin koelaitteistolla tehtyjä kokeita. Mm. pinta-kuorman muuttumisen vaikutusta  $\text{BHT}_5$ -reduktioon ei saada näin selville.

Taulukosta 12 ilmenevät selkeytyskokeiden tulokset. Näistä on liitteenä (liite 8) graafinen esitys, jossa ylijuoksun kiintoainepitoisuus ja  $\text{KMnO}_4$ -reduktio on piirretty pinta-kuorman funktiona. Jos ylijuoksun kiintoainepitoisuus halutaan pitää luokassa  $\leq 10 \text{ mg/l}$ , saadaan käyriltä seuraavat arvot maksimipintakuormille ja vastaaville  $\text{KMnO}_4$ -reduktioille:

		Pintakuorma $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$	$\text{KMnO}_4$ - väh. %	Kemikaalikust. mk/vrk mk/ts	
aluna	200 mg/l	0.22	52	1550	2:60
ferrikloridi	150 mg/l	0.25	59	2750	4:63
"	"				
+ F-lim	15 mg/l	0.61	63	3970	6:67

Ns. onnistunutta koetta alunalla ja Flockningslimillä ei ole, koska luokkaa 0.23 olevilla pintakuormilla oli teknillisten seikkojen vuoksi hyvin vaikeaa pitää syöttö vakiona. Pintakuormalla  $0.22 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  on tarvittava tehollinen selkeytyspinta Vargö-vedelle virtauksella  $30 \text{ m}^3/\text{min}$   $8\,200 \text{ m}^2$  ja pintakuormalla  $0.61 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$   $2\,950 \text{ m}^2$ .

## 7.2. Valkaisimon alkalivaiheen nollavesi

Taulukossa 13 ovat tulokset aluna-, ferrikloridi- ja kalkkisaostuskokeista, joissa määritettiin optimi-pH ja -annos. Kuvassa 12 olevista graafisista esityksistä saadaan näiksi arvoiksi:

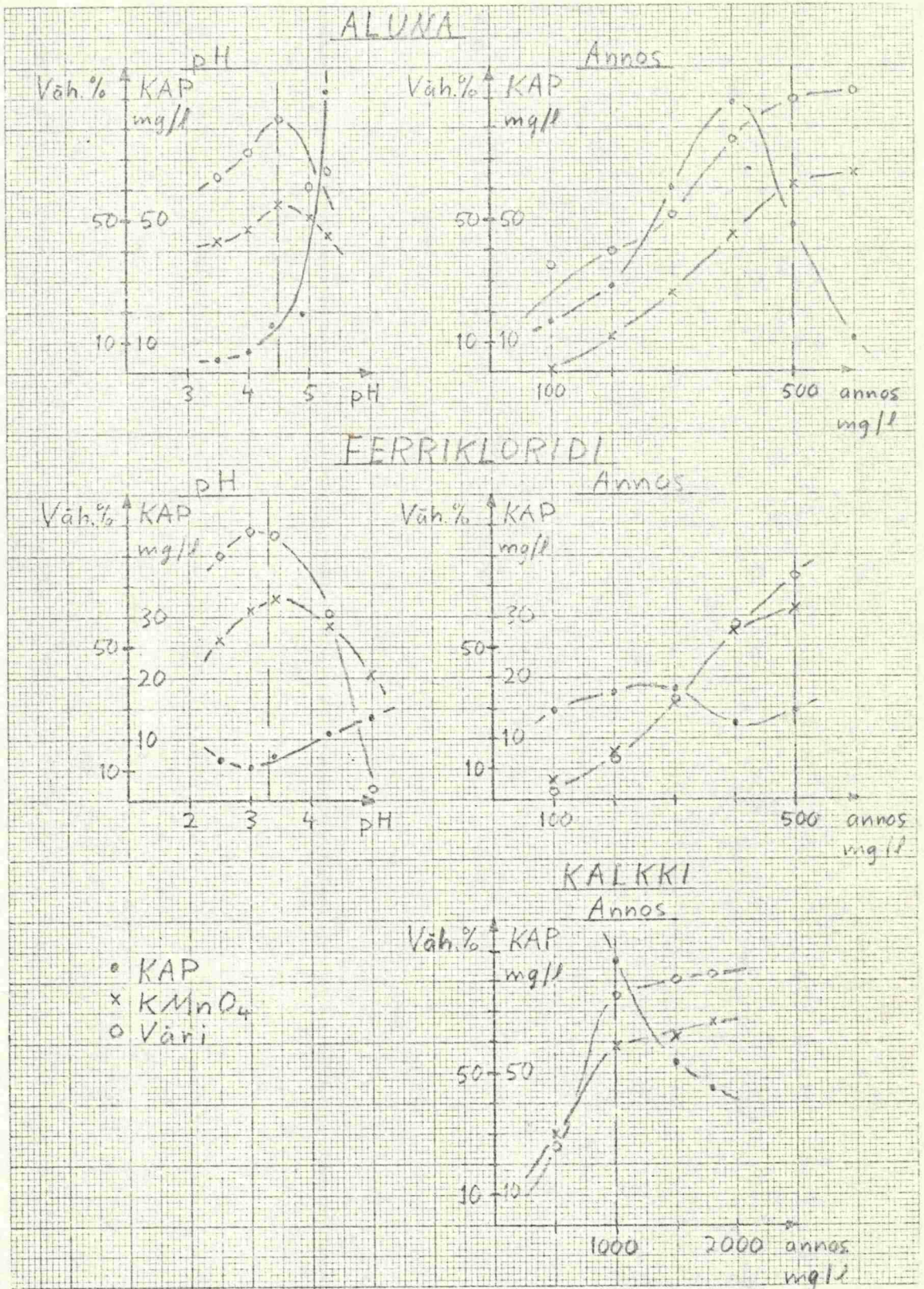
	pH	annos
aluna	4.5	500
ferrikloridi	3.3	500
kalkki		1000

Kalkin yhteydessä ei katsottu tarpeelliseksi etsiä optimi-pH:ta. Taulukossa 13 ovat tulokset myös eri flokkausaineyhdistelmillä suoritetuista kokeista. Kemikaalit lisättiin samanaikaisesti ja pH säädettiin n. 8.5:een. Taulukosta ilmenevien  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksista laskettujen  $\text{O}_2$ -vähenemän kemikaalikustannusten mukaan parhaat ovat pelkkä aluna, 300 mg/l alunaa + 500 mg/l kalkkia sekä pelkkä ferrikloridi. Kiintoaineen ja värireduktion perusteella parhaiksi osoittautuvat aluna ja ferrikloridi yksinään käytettyinä.

Tuloksia tarkasteltaessa kiinnittyy huomio värin suureen reduktioon jo 100 mg/l:n aluna-annoksella. Tämä johtuu pääasiassa pH:n vaikutuksesta väriin. Kuvassa 13 on graafinen esitys, jossa väri on esitetty pH:n funktiona. Näyte oli Vargö-vettä. Värin minimi on n. pH 4:ssä, ja kun pH muutetaan arvosta 10 optimiflokkausarvoon, pienenee

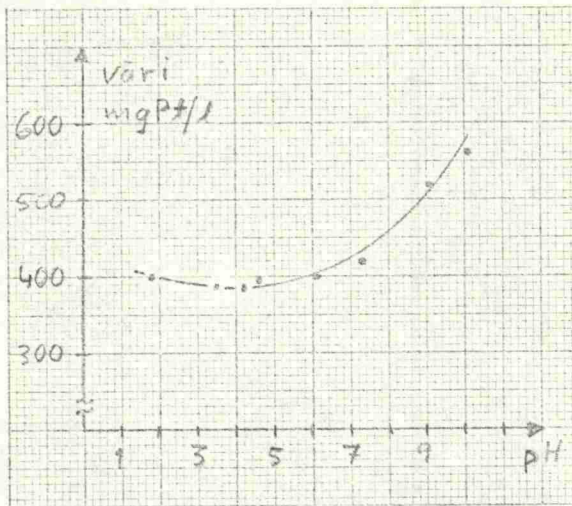


väriarvo lähes kolmanneksella. Laboratorio- ja selkeytyskokeiden värimääritykset on suoritettu pH:ta säätämättä, joten selluloosatehtaan ligniinipitoisissa vesissä pH:n vaikutus väriin aiheuttaa virhettä laskettuihin värireduktioihin. Mitään värikuormia ja väritaseita ei voida laskea, sillä jätevesien pH muuttuu niiden sekoittuessa muihin vesiin ja purkuvesistöön.

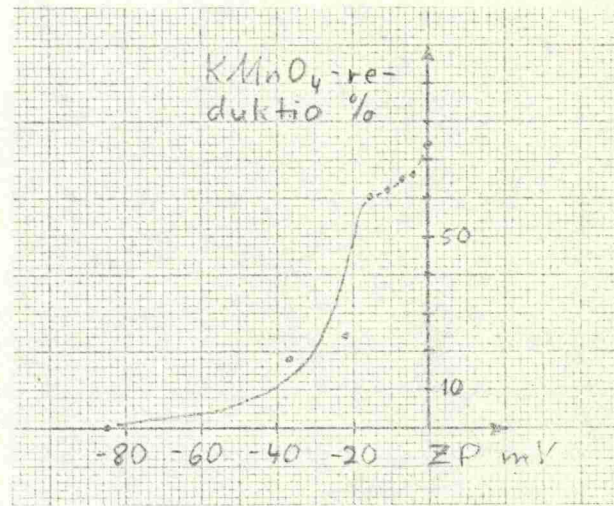


**Kuva 12** Laboratoriokokeet valkaisimon alkali-  
vaiheen jätevedellä





Kuva 13 Värin riippuvuus pH:sta



Kuva 14 KMnO<sub>4</sub>-reduktion riippuvuus zeta-potentiaalista. Valkaisimon alkali-vaiheen nollaveden flokkaus alunalla

Taulukko 14 KMnO<sub>4</sub>-reduktion ja zetapotentialin riippuvuus aluna-annoksesta valkai-simon alkalivaiheen nollavedellä

Annos mg/1	KMnO <sub>4</sub> mg/1	väh. %	ZP mV
0	1360		- 85
100	1120	18	- 36.8
200	1030	24	- 22.4
300	537	60	- 15.5
400	521	62	- 11.2
500	474	65	- 7.3
600	458	66	- 4.0
700	348	74	~ 0



Taulukko 13 Laboratorioselkeytyskokeet valkaisimon  
alkalivaiheen nollavedellä

ALUNA

pH-sarja								
pH		8.8	3.5	4.0	4.4	4.9	5.3	
annos	mg/1	0	500	500	500	500	500	
lietteen tilav. ml			130	150	170	210	180	
KAP	mg/1	48.0	4.2	7.2	16.0	19.6	92.0	
KMnO <sub>4</sub>	"	2370	1340	1250	1070	1170	1300	
- väh.	%		43	47	55	51	45	
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /1	270	35.7	30.2	85.0	24.4	67.0	
- väh.	%		87	89	69	91	75	
väri	mgPt/1	2360	840	650	390	920	810	
- väh.	%		64	72	83	61	66	
annossarja								
annos	mg/1	0	100	200	300	400	500	600
pH		11.2	4.5	4.6	4.7	4.5	4.5	4.5
lietteen tilav. ml			20	30	50	105	150	175
KAP	mg/1	222	16.8	27.6	60.0	87.6	48.4	11.2
KMnO <sub>4</sub>	"	1580	1560	1390	1170	869	616	553
- väh.	%		1	12	26	45	61	65
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /1	184	140	135	134	80	15.6	13.3
- väh.	%		24	27	27	57	92	93
väri	mgPt/1	2560	1660	1540	1240	610	275	217
- väh.	%		35	40	52	76	89	92

KALKKI

annossarja						
annos	mg/1	0	500	1000	1500	1800
pH		11.2	11.8	12.0	12.0	12.1
lietteen tilav. ml			10	70	80	80
KAP	mg/1	222	133	86.4	52.8	44.8
KMnO <sub>4</sub>	"	1580	1110	648	600	537
- väh.	%		30	59	62	66
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /1	184	116	67	68	62
-väh.	%		37	64	63	66
väri	mgPt/1	2560	1890	630	520	450
- väh.	%		26	75	80	82

FERRIKLORIDI

pH-sarja							
pH		10.0	2.5	3.0	3.4	4.3	5.0
annos	mg/l	0	500	500	500	500	500
lietteen tilav.	ml		130	180	210	190	150
KAP	mg/l	45.6	6.4	5.2	7.2	10.8	13.6
KMnO <sub>4</sub>	"	1440	695	553	490	616	853
- väh.	%		52	62	66	57	41
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	230	71.7	44.0	37.6	112	272
- väh.	%		69	81	84	51	0
väri	mgPt/l	1740	356	201	231	680	1670
- väh.	%		80	88	87	61	4
annossarja							
annos	mg/l	0	100	200	300	400	500
pH	10.	10.0	3.3	3.4	3.3	3.3	3.4
lietteen tilav.	ml		0	20	40	110	140
KAP	mg/l	45.6	14.8	17.6	18.0	12.4	14.4
KMnO <sub>4</sub>	"	1440	1360	1230	995	648	553
- väh.	%		6	15	31	55	62
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	230	500	490	400	183	110
- väh.	%		0	0	0	20	52
väri	mgPt/l	1740	1690	1520	1170	750	470
- väh.	%		3	13	33	57	73

ALUNA + KALKKI, FERRIKLORIDI + KALKKI

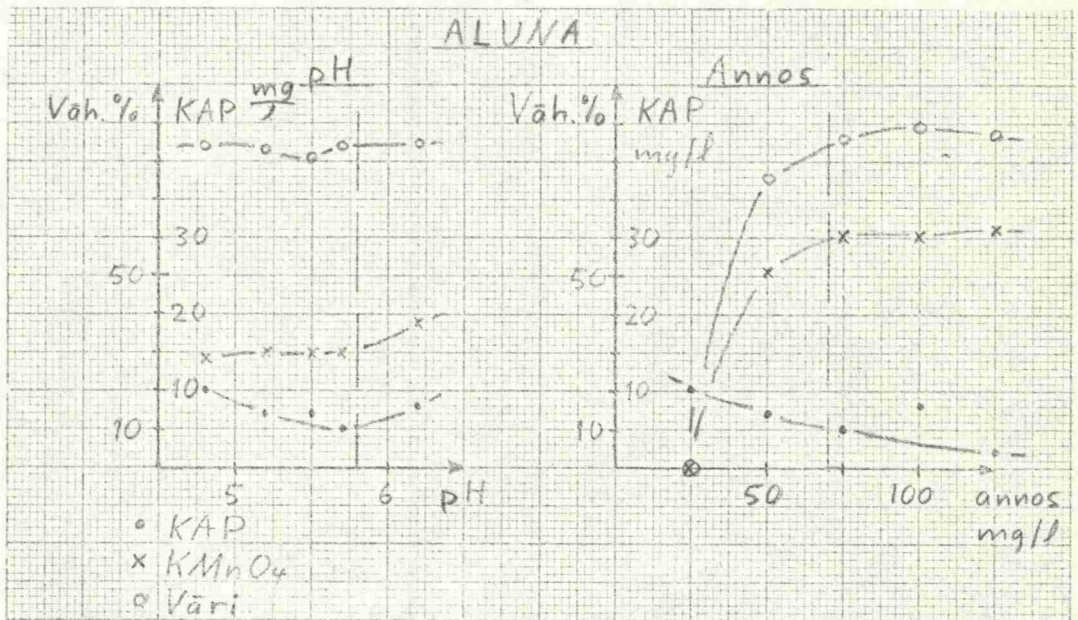
aluna-annos	mg/l	0	500	400	300	0	0	0
ferrikloridiannos	"	0	0	0	0	400	300	200
kalkkiannos	"	0	0	200	500	0	200	500
pH		7.6	4.6	8.5	8.4	3.4	8.5	8.5
lietteen tilav.	ml		100	80	85	270	70	140
KAP	mg/l	106	10	38	54	8.4	70	28
KMnO <sub>4</sub>	"	1930	1090	1310	1150	648	1140	964
- väh.	%		44	32	40	66	31	50
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	268	52	183	160	50.5	361	240
- väh.	%		81	32	40	81	0	10
väri	mgPt/l	1850	577	1340	1170	163	1550	970
- väh.	%		69	28	37	91	16	48
kemikaalikust. p/vesim <sup>3</sup>			9.3	9.2	10.1	17.6	14.9	13.4
KMnO <sub>4</sub> -väh.kust. p/kgO <sub>2</sub>			43.5	59.0	51.5	54.5	74.5	54.5



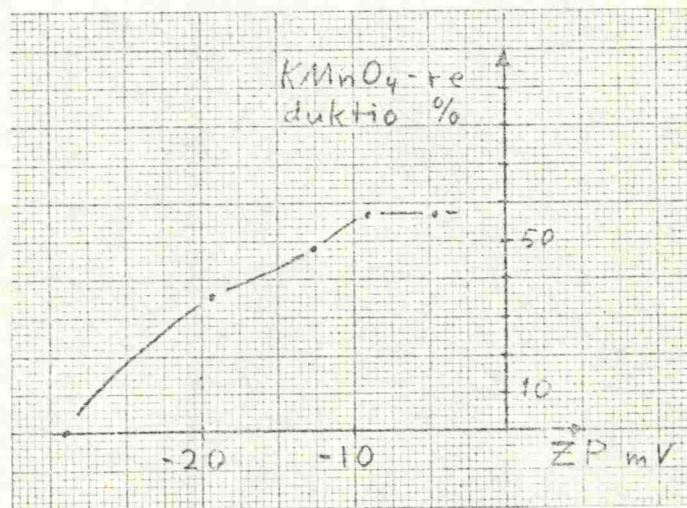
Taulukko 15 Selkeytyskokeet valkaisimon alkalivaiheen  
nollavedellä

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
pintakuorma m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	0.41	0.53	0.62	0.62	0.71	0.62	0.86	0.62	0.71
aluna mg/l	500	500	500	500	500				
kalkki "						1000	1000	1000	1000
Flockningslim "				15	15			15	15
lietteen poisto % syötöstä	10.4	9.9	10.4	9.3	9.7	9.5	9.1	6.8	9.7
lietteen KAP mg/l	1770	1310	400	2980	1750	2700	2460	4770	2810
sisäsyl. lietteen KAP "	1480	970	400	1650	1520	1980	2040	3330	2400
lietepatjan pinnan korkeus %	95	100	100	50	100	80	100	92	100
	ValkE Ylij. Väh%	ValkE Ylij. Väh%	ValkE Ylij. Väh%	ValkE Ylij. Väh%	ValkE Ylij. Väh%	ValkE Ylij. Väh%	ValkE Ylij. Väh%	ValkE Ylij. Väh%	Valk.E Ylij. Väh%
pH	9.8 4.4	9.9 4.5	9.0 4.3	9.0 4.3	10.3 4.4	9.5 11.7	9.3 11.8	10.0 11.9	10.2 12.0
KAP mg/l	107 56.4	213 522	99 272	144 25.4	200 125	328 45.5	152 1000	137 23.8	114 811
KMnO <sub>4</sub> "	1550 1010 35	1400 1000 29	1260 967 23	1390 778 44	1420 690 51	1590 510 68	1450 632 56	2200 990 55	2010 1010 50
haihd.jäännös "	1020 1200			1547 950		1440 1564		2128 1945	
hehk.jäännös "	713 1010			450 257		826 1196		1242 1503	
hehk.häviö "	307 190 38			1097 693 37		614 368 40		886 442 50	
sameus mgSiO <sub>2</sub> /l	226 84 63			152 36.9 76		156 35 78		237 70 70	
väri mgPt/l	1260 840 33			1580 530 66		975 240 75		1560 500 68	
BHT <sub>5</sub> mg/	256 125 51			218 94.4 57	341 172 50	385 109 62		356 152 57	





Kuva 15 Laboratoriokokeet vaakaselkeyttimen ylijuoksuvedellä



Kuva 16 KMnO<sub>4</sub>-reduktion riippuvuus zetapotentialista. Vaakaselkeyttimen ylijuoksuveden flokkaus alunalla

Taulukosta 14 ilmenevät tulokset zetapotentiaalitutkimuksista. Kuvassa 14 on graafinen esitys tuloksista.

Taulukossa 15 ja liitteessä 9 ovat tulokset selkeytyskokeista, jotka suoritettiin alunalla ja kalkilla käyttäen Flockningslimiä flokkausapuaaineena. Jos kiintoainepitoisuus halutaan pitää luokassa  $\leq 25$  mg/, ovat maksimipinta-kuormat ja vastaavat  $\text{KMnO}_4$ -reduktiot seuraavat:

	Pintakuorma $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$	$\text{KMnO}_4$ -red. %	Kemikaalikust mk/vrk mk/ts	
- aluna 500 mg/l	0.30	40	533	0:90
- " " +F-lim 15 mg/l	0.62	49	617	1:04
- kalkki 1000 mg/l	0.50	72	528	0:89
- " " +F-lim 15 mg/l	0.62	55	612	1:03

Alkalivaiheen nollaveden virtauksen ollessa  $4 \text{ m}^3/\text{min}$  vastaa pintakuormaa 0.30 tehollinen selkeytyspinta  $800 \text{ m}^2$  ja pintakuormaa 0.62  $390 \text{ m}^2$ .

### 7.3. Vaakaselkeyttimen ylijuoksu

Taulukossa 16 ovat tulokset laboratorioselkeytyksistä ja taulukossa 17 tulokset zetapotentiaaalimittauksista. Alunan optimi-pH on 5.5 ja -annos 50 mg/l. (Ks. kuvat 15 ja 16)

Taulukosta 18 ja liitteestä 10 ilmenevät pilot-plant -selkeytyskokeiden tulokset. Jos ylijuoksun kiintoainepitoisuus halutaan pienemmäksi kuin 10 mg/l, ovat maksimipintakuorma, vastaava  $\text{KMnO}_4$ -reduktio ja kemikaalikustannukset seuraavat (virtaus  $22 \text{ m}^3/\text{min}$ ):

	Pintakuorma $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$	$\text{KMnO}_4$ -red. %	Kemikaalikust. mk/vrk mk/ts	
- aluna 60 mg/l	0.55	39	352	1:17
- " " +F-lim 7 mg/l	0.80	23	784	2:60

Tarvittava tehollinen selkeytyspinta on edellisessä tapauksessa  $2\,400 \text{ m}^2$  ja jälkimmäisessä  $1\,650 \text{ m}^2$ .

Selkeytyskokeissa saadulla lietteellä tehtiin suodatuskokeita Eimco Leaf Tester -laitteistolla. Tutkittavan lietteen kiintoainepitoisuus oli säädetty kaikissa tapauksissa  $4\,000 \text{ mg/l}$ :ksi. Seuraavassa on tuloksia:

		aluna 60 mg/l	aluna 60 mg/l + F-lim 7 mg/l
- suodosmäärä	ml	910	148
- suodoksen KAP	mg/l	3850	1180
- lietekakun kuiva- aine	%	29	10
- suodattimen erotus- aste	%	4	61
- " kapas.	$\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$	11.5	1.9



Taulukko 16      Laboratorioselkeytyskokeet vaaka-  
selkeyttimen ylijuoksuvedellä

ALUNA

pH-sarja								
pH		6.7	5.0	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3
annos	mg/l	0	50	50	50	50	50	50
lietteen tilav. ml			20	20	20	20	20	20
KAP	mg/l	44	22	8	41	22	47	59
KMnO <sub>4</sub>	"	230	120	63	126	139	142	136
- väh.	%		48	73	45	40	38	41
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	25.2	12.9	6.0	7.9	14.8	23.4	24.0
- väh.	%		49	76	69	41	7	5
väri	mgPt/l	166	81.0	38.0	50.3	92.5	153	157
- väh.	%		51	77	70	44	8	5
annossarja								
annos	mg/l	0	20	30	40	50	60	
pH		6.7	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
lietteen tilav. ml			0	0	10	20	20	
KAP	mg/l	44	53	40	31	9	4	
KMnO <sub>4</sub>	"	230	164	164	117	95	86	
- väh.	%		29	29	49	59	63	
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	25.2	19.1	21.4	11.8	4.0	3.0	
- väh.	%		24	15	53	84	88	
väri	mgPt/l	166	122	140	74.5	25.0	16.0	
- väh.	%		27	16	55	85	90	

Taulukko 17      KMnO<sub>4</sub>-reduktion ja zetapotentialin riippu-  
vuus aluna-annoksesta vaakaselkeyttimen yli-  
juoksuvedellä

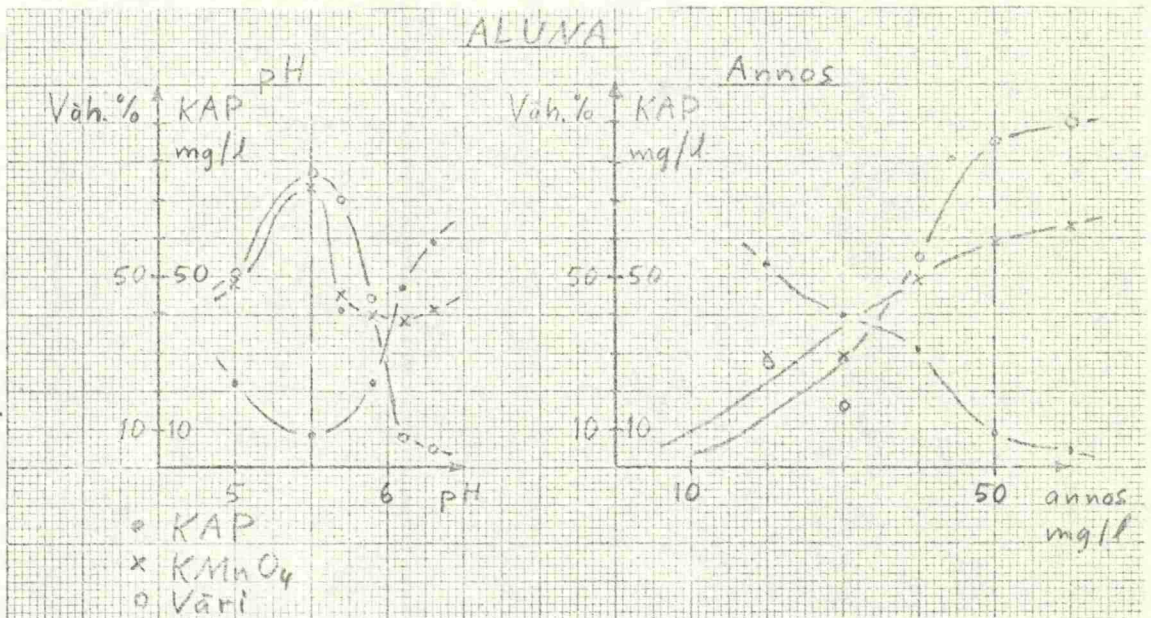
Annos mg/l	KMnO <sub>4</sub> mg/l	väh.%	ZP mV
0	253		24.6
20	259	0	20.2
50	142	44	18.0
90	137	46	12.3
125	122	52	8.8
150	111	54	7.1
175	123	51	5.4

Taulukko 18 Selkeytyskokeet vaakaselkeyttimen  
ylijuuksuvedellä

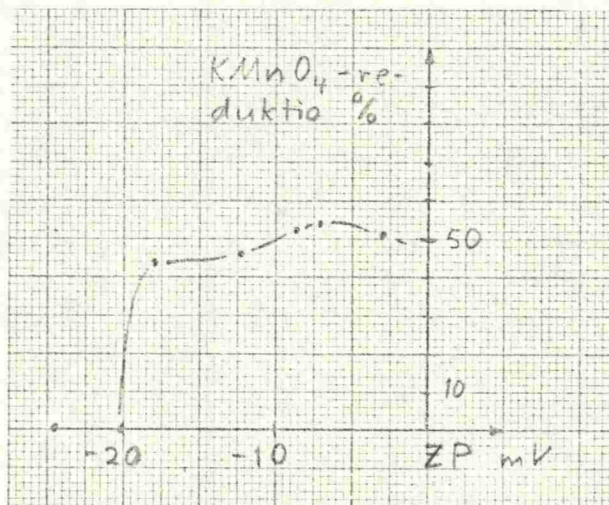
	1.	2.
pintakuorma m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	0.35	0.52
aluna mg/l	50	60
Flockningslim		
lietteen poisto % syötöstä	8.2	10.1
lietteen KAP mg/l	512	660
sisäsyl. lietteen KAP "	244	470
lietepatjan pinta %	40	56
	Syöttö Ylij. Väh%	Syöttö Ylij. Väh%
pH mg/l	6.8 5.3	6.7 5.6
KAP "	51.8 3.4	44.4 8.0
KMnO <sub>4</sub> "	220 95 58	184 144 22
haihd. jäännös "	211 190	185 196
hehk. jäännös "	65 141	103 126
hehkutushäviö "	146 49 66	82 70 15
sameus mgSiO <sub>2</sub> /l	2317 11.8 50	20.4 28.4 0
väri mgPt/l	94.4 31.5 67	77.2 75.5 2
BHT <sub>5</sub> mg/l		52.5 24.4 54

	3.	4.	5.	6.
	0.62	0.62	0.78	0.95
	60	60	60	60
		10	7	7
	9.8	9.8	9.1	9.5
	530	723	847	580
	386	666	794	496
	94	68	92	100
	Syöttö Ylij. Väh%	Syöttö Ylij. Väh%	Syöttö Ylij. Väh%	Syöttö Ylij. Väh%
	6.6 5.4	6.7 5.7	7.4 5.6	7.2 5.5
	40.5 19.8	41.8 9.0	86.5 8.3	47.3 34.5
	192 108 44	197 104 47	338 302 11	253 210 17
	212 193	142 151		
	127 134	69.6 101		
	85 59 31	72.7 50 31		
	28.7 2.3 92	26.8 9.8 63		
	86.4 18.5 79	81.6 23.7 61		
	36.1 13.4 63			





Kuva 17 Laboratoriokokeet vaakaselkeyttimelle tulevalla vedellä



Kuva 18 KMnO<sub>4</sub>-reduktion riippuvuus zetapotentialista. Vaakaselkeyttimelle tulevan veden flokkaus alunalla.



Taulukko 19 Laboratorioselkeytyskokeet vaakaselkeyttimelle tulevalla vedellä

ALUNA							
pH-sarja							
pH		5.3	4.8	5.2	5.5	5.7	6.2
annos	mg/l	0	100	100	100	100	100
lietteen tilav. ml			110	100	90	100	100
KAP	mg/l	504	10	7	7	5	8
KMnO <sub>4</sub>	"	136	98	95	95	95	85
- väh.	%		28	30	30	30	38
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	18.8	5.6	3.6	2.0	1.5	2.0
- väh.	%		70	81	89	92	89
väri	mgPt/l	50.0	8.1	8.7	9.5	8.1	7.5
- väh.	%		84	83	81	84	85
annossarja							
annos	mg/l	0	25	50	75	100	125
pH		6.4	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8
lietteen tilav. ml			80	110	120	125	115
KAP	mg/l	284	10	7	5	8	2
KMnO <sub>4</sub>	"	158	158	76	63	63	60
- väh.	%		0	51	60	60	62
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	26.6	46.3	12.9	7.2	10.2	6.4
- väh.	%		0	52	73	62	76
väri	mgPt/l	68.0	91.4	16.5	9.5	7.5	8.7
- väh.	%		0	76	86	89	87

Taulukko 20 KMnO<sub>4</sub>-reduktion ja zetapotentialin riippuvuus aluna-annoksesta vaakaselkeyttimelle tulevalla vedellä

Annos mg/l	KMnO <sub>4</sub> mg/l	väh.%	ZP mV
0	329		-28.9
50	215	35	-19.3
100	172	48	-12.6
150	141	57	- 9.0
200	141	57	- 4.6

#### 7.4. Vaakaselkeyttimelle tuleva vesi

Taulukosta 19 ja kuvasta 17 ilmenevät tulokset optimi-pH:n ja -annoksen määrittämisestä. Arvoja 5.8 ja 70 mg/l voidaan pitää optimeina, joskin tässä tapauksessa teho ei ole kovin voimakkaasti riippuvainen pH:sta. Taulukon 20 ja kuvan 18 sarjan vastaavuus taulukon 19 tulosten kanssa ei ole kovin hyvä, sillä edellisessä on tutkittavan veden  $\text{KMnO}_4$ -kulutus yli kaksinkertainen jälkimmäisen taulukon arvoon verrattuna.

Taulukon 21 tuloksista ja niistä tehdystä graafisesta esityksestä (liite 11) saadaan seuraavat maksimipintakuormat ja vastaavat  $\text{KMnO}_4$ -reduktiot sekä kemikaalikustannukset virtauksella 22 m<sup>3</sup>/min (ylijuoksun KAP  $\leq$  10 mg/l):

	Pintakuorma m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	$\text{KMnO}_4$ -red. %	Kemikaalikust. mk/vrk mk/ts	
- aluna 80 mg/l	0.63	38	469	1:51
- " " + F-lim 7 mg/l	0.72	27	901	3:00

Tarvittava tehollinen selkeytyspinta on pintakuormalla 0.63 2 100 m<sup>2</sup> ja pintakuormalla 0.72 1 840 m<sup>2</sup>.

Seuraavassa esitetään lietesuodatuskokeiden tulokset:

	aluna 80 mg/l	aluna 80 mg/l + F-lim 7 mg/l
= suodosmäärä ml	176	175
- suodoksen KAP mg/l	928	950
- lietekakun kuiva- aine %	25	11
- suodattimen erotus- aste %	77	76
- suodattimen kapasiteetti $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ 2.2		2.2



Taulukko 21 Vaakaselkeyttimelle tulevan veden  
selkeytyskokeet

	1.	2.	3.	4.	5.
pintakuorma $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$	0.52	0.62	0.71	0.71	0.78
aluna mg/l	80	80	80	80	80
Flockningslim "				7	7
lietteen poisto % syötöstä	10.0	9.8	10.4	10.1	9.8
" KAP mg/l	1580	1740	1480	1090	1170
sisäysl. lietteen KAP "	1520	1340	1230	1040	1090
lietepatjan pinta %	82	96	100	96	100
	Tul. Ylij. Väh%	Tul. Ylij. Väh%	Tul. Ylij. Väh%	Tul. Ylij. Väh%	Tul. Ylij. Väh%
pH	6.5 6.1	5.3 5.9	6.5 5.9	6.9 5.8	6.7 5.7
KAP mg/l	175 6.6	118 4.7	163 192	99.5 7.0	130 152
$\text{KMnO}_4$ "	136 79	63 39	81 40	81 59	117 91
haihd. jäännös "	42	38	51	27	22
hehk. jäännös "		100 137		78 114	
hehkutushäviö "		40 97		41 96	
sameus mgSiO <sub>2</sub> /l		60 40		37 18	
väri mgPt/l		15.6 3.6		6.0 4.4	
BHT <sub>5</sub> mg/l		31.5 7.5		23.7 2.0	
		36.0 4.7		18.2 0	
		87		100	

Taulukko 22 Vaakaselkeyttimelle tulevan veden mekaaniset selkeytyskokeet

		1.					
		Koepysty- selkeytin			Vaakaselkeytin		
pintakuorma	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	1.20			1.73		
lietteen poisto % syötöstä		2.0			1.8		
lietteen KAP	mg/l	1180			8000-14000		
sisäsyl. lietteen KAP	mg/l	1160					
lietepatjan pinta %		86					
		Syöttö	Ylij.	Väh%	Syöttö	Ylij.	Väh%
KAP	mg/l	242	58.0	76	242	74.7	69

		2.					
		Koepysty- selkeytin			Vaakaselkeytin		
pintakuorma	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h	1.70			1.73		
lietteen poisto % syötöstä		3.4			1.8		
lietteen KAP	mg/l	993			8000-14000		
sisäsyl. lietteen KAP	mg/l	950					
lietepatjan pinta %		100					
		Syöttö	Ylij.	Väh%	Syöttö	Ylij.	Väh%
KAP	mg/l	219	156	29	219	22	90

Vaakaselkeyttimelle tulevan veden mekaanista selkeytystä tutkittiin myös koelaitteella. Taulukossa 22 ovat tulokset tästä koesarjasta. Vaakaselkeyttimen ylijouksun näytteet otettiin virtausmäärän ja altaan tilavuuden perusteella lasketun viiveajan kuluttua tulevan veden näytteenotosta. Vaakaselkeyttimen lietteen sakeutta ei määritelty, vaan tuloksissa on ilmoitettu, mitä luokkaa se on tehtaalla suoritettujen analyysien mukaan. Tuloksista ilmenee, ettei

koepystyselkeyttimellä saada samaa erotustehoa kuin vaaka-  
selkeyttimellä. Toisaalta laitteiden toimintaperiaatteet  
ovat erilaiset, joten pintakuormana lasketut kapasiteetit  
eivät ole vertailukelpoisia.



### 7.5. Kuorimon jätevesi

Taulukosta 23 ilmenevät kuorimovedellä suoritettujen alunaja kalkkisaostusten tulokset. Alunan optimi-pH on n. 5.7 ja -annos 25 mg/l. Kalkin optimiannos on 800 mg/l.

Kuorimoveden sisältämien suurten kuoren- ja puunkappaleiden vuoksi ei koelaitteiston syöttöpumppu pystynyt pumppaamaan vettä, joten jätevesi täytyi ottaa kuorisuotimien suodosvesialtaasta, jonka sisältämien kiintoainepartikkelien maksimikoko on 3 mm. Tälle vedelle tehtiin suppea optimi-pH- ja -annosmäärittely, jonka tulokset ovat taulukoissa 24 ja 25 sekä kuvissa 19 ja 20. Alunan optimi-pH on 5.6 ja -annos 20 mg/l ja kalkin optimiannos 500 mg/l

Pilot-plant -selkeytyskokeet tehtiin alunalla ja yksi piste vertailun vuoksi kalkilla. Tulokset ovat taulukossa 26 ja liitteessä 12. Ylijuoksun kiintoainepitoisuuden ollessa  $\leq 25$  mg/l, on vastaava maksimipintakuorma ja  $\text{KMnO}_4$ -reduktio seuraava (virtaus  $18.4 \text{ m}^3/\text{min}$ ):

	Pintakuorma	$\text{KMnO}_4$ -red.	Kemikaalikust.	
	$\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$	%	mk/vrk	mk/ts
- aluna 50 mg/l	0.74	27	245	0:41

Tarvittava tehollinen selkeytyspinta on  $1\,490 \text{ m}^2$ .

Taulukko 23 Laboratorioselkeytyskokeet kuorimo-  
jätevedellä

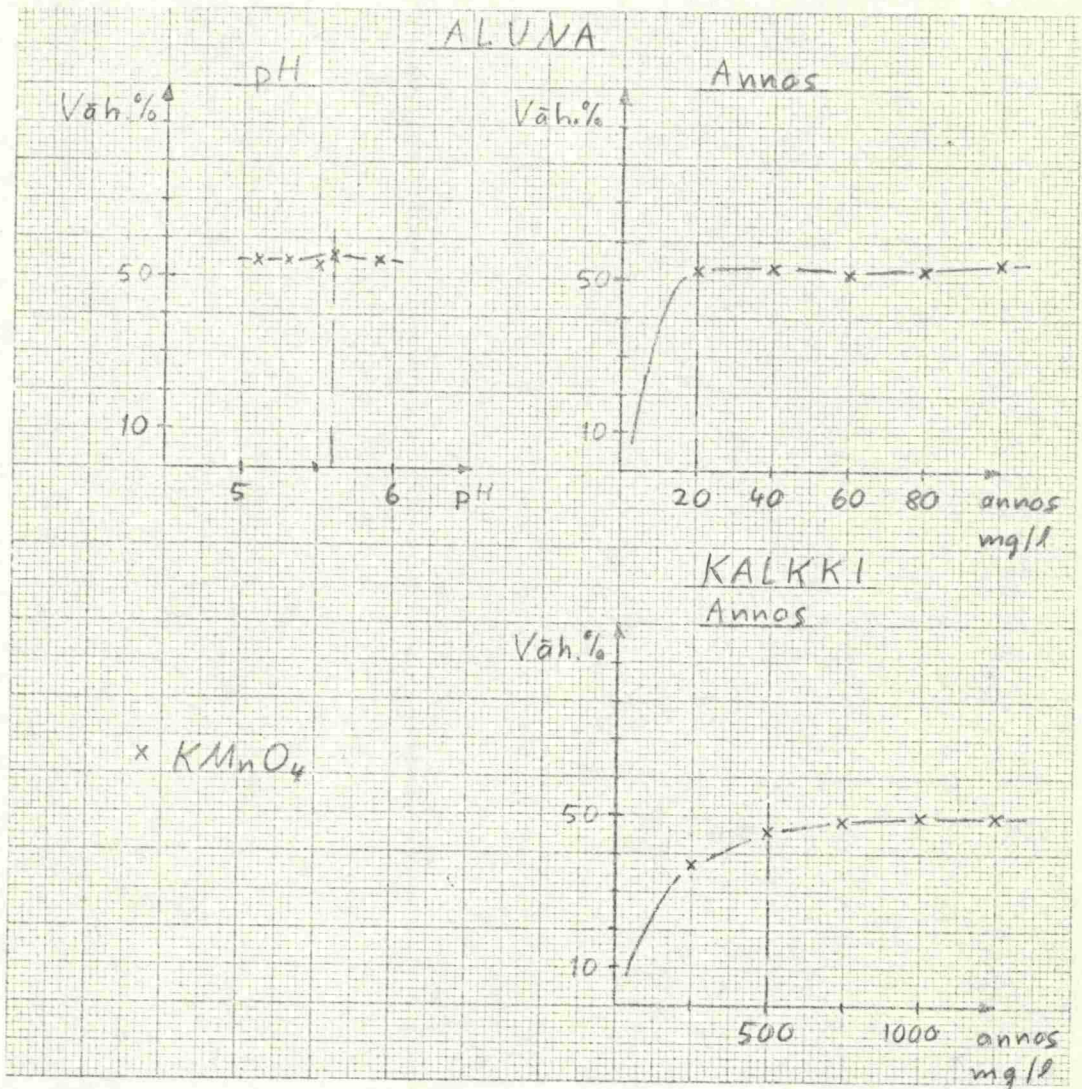
ALUNA

pH-sarja							
pH		6.9	4.9	5.2	5.5	5.8	6.1
annos	mg/l	0	100	100	100	100	100
lietteen tilav. ml			20	20	20	20	20
KAP	mg/l	24.4	4.8	5.2	7.2	4.0	8.8
KMnO <sub>4</sub>	"	72	32	29	26	25	27
- väh.	%		56	60	64	65	63
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	11.4	2.0	1.5	2.0	1.0	2.0
- väh.	%		83	87	83	91	83
väri	mgPt/l	38.0	5.2	5.2	3.2	4.5	2.0
- väh.	%		86	86	92	88	95
annossarja							
annos	mg/l	0	25	50	75	100	125
pH		6.9	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
lietteen tilav. ml			10	15	20	20	20
KAP	mg/l	24.4	8.8	10.8	12.4	10.4	10.4
KMnO <sub>4</sub>	"	72	33	37	25	21	23
- väh.	%		54	49	65	71	68
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	11.4	3.3	2.5	2.0	1.3	1.3
- väh.	%		71	78	83	89	89
väri	mgPt/l	38.0	7.5	4.5	4.0	5.5	4.5
- väh.	%		80	88	90	86	88

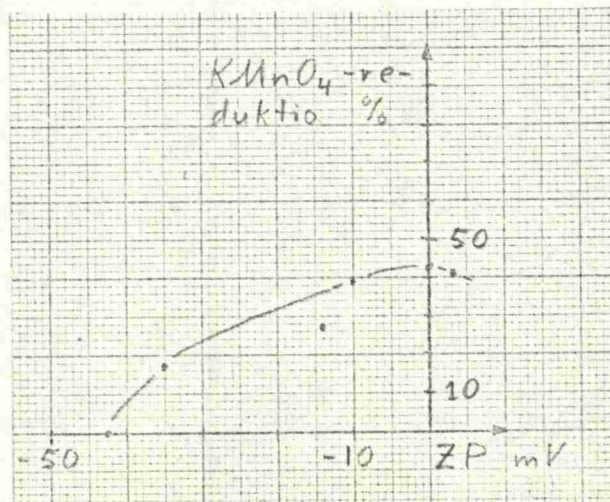
KALKKI

annossarja								
annos	mg/l	0	200	400	600	800	1000	1200
pH		6.8	11.5	11.8	11.9	12.1	12.2	12.3
lietteen tilav. ml			10	15	20	20	20	20
KAP	mg/l	62.0	15.2	13.2	11.2	10.8	9.2	8.0
KMnO <sub>4</sub>	"	56	49	44	39	34	34	34
- väh.	%		13	20	30	39	39	39
sameus	mgSiO <sub>2</sub> /l	9.8	6.8	6.8	6.0	4.4	2.5	2.9
- väh.	%		31	31	39	55	74	70
väri	mgPt/l	33.5	47.0	41.3	29.5	21.7	20.5	14.5
- väh.	%		0	0	12	35	32	57





Kuva 19 Laboratoriokokeet kuorisuodinaltaan vedellä



Kuva 20 KMnO<sub>4</sub>-reduktion riippuvuus zetapotentialista. Kuorisuodinaltaan veden flokkaus alunalla.



Taulukko 24 Laboratorioselkeytyskokeet  
kuorisuodinaltaan vedellä

ALUNA

pH-sarja							
pH		10.4	5.1	5.3	5.5	5.6	5.9
annos	mg/l	0	100	100	100	100	100
KMnO <sub>4</sub>	"	158	72	72	74	71	72
- väh.	%		54	54	53	55	54
annossarja							
annos	mg/l	0	20	40	60	80	100
pH		10.4	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
KMnO <sub>4</sub>	"	158	77	75	78	76	73
- väh.	%		52	53	51	52	54

KALKKI

annossarja							
annos	mg/l	0	250	500	750	1000	1250
pH		10.4	11.6	11.8	12.0	12.2	12.3
KMnO <sub>4</sub>	"	158	99	87	82	80	81
- väh.	%		37	45	48	49	49

Taulukko 25 KMnO<sub>4</sub>- reduktion ja zetapotentialin  
riippuvuus aluna-annoksesta kuorisuodin-  
altaan vedellä

Annos mg/l	KMnO <sub>4</sub> mg/l	väh. %	ZP mV
0	239		-42.6
20	199	17	-35.1
40	145	27	-14.0
60	122	39	-10.1
70	92	42	~ 0
80	94	41	+ 3.3

Taulukko 26 Kuorisuodinaltaan veden selkeytyskokeet

	1.			2.			3.			4.		
	Kuor.	Ylij.	Väh%	Kuor.	Ylij.	Väh%	Kuor.	Ylij.	Väh%	Kuor.	Ylij.	Väh%
pintakuorma m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h		0.57			1.09			1.33			0.88	
aluna mg/l		50			50			50			500	
kalkki "												
lietteen poisto % syötöstä		8.4			9.8			8.8			8.3	
lietteen KAP mg/l		738			1370			344			680	
sisäysl. lietteen KAP "		344			380			280			385	
lietepatjan pinta %												
	epämääräinen			epämääräinen			epämääräinen			epämääräinen		
pH	8.5	5.5		7.5	5.8		7.8	5.6		8.1	11.8	
KAP	110	14		320	48		401	59		237	37	
KMnO <sub>4</sub>	193	133	31	228	183	20	182	161	12	109	88	19
haihd. jäännös	146	131		160	167							
hehk. jäännös	94	96		69	97							
hehkutushäviö	52	35	33	91	70	23						
sameus mgSiO <sub>2</sub> /l	17.5	5.6	68	36.5	4.0	89						
väri mgPt/l	202	9.4	95	98.7	13.7	87						
BHT <sub>5</sub> mg/l	49.8	26.4	47	60.3	30.3	50						

## 8. TULOSTEN TARKASTELU

### 8.1. Lajittamon nollavesi

Selluloosatehtaan jätevesien pitoisuuksia Vargö-veden kemiallinen puhdistus ferrikloridilla vähentäisi  $\text{KMnO}_4$ -kulutuksen osalta 18 %. Vargö-vedelle laskettu osuus  $\text{BHT}_5$ :stä (15 %) tuntuu  $\text{KMnO}_4$ -kulutukseen (30 %) verrattuna pieneltä. Toisaalta vesi sisältää sellaista puusta liuennutta hitaasti hapettuvaa ainesta, josta käytetty analyyssi  $\text{BHT}_5$  ei anna todellista kuvaa (vrt. kohta 1.1.2.). Ferrikloridilla saavutettava selluloosatehtaan jätevesien  $\text{BHT}_5$ -reduktio olisi 7 %. Kemiallisen puhdistuksen yhteydessä saavutettava kiintoainereduktio olisi vain n. 8 %, sillä suodatuksen ansiosta lajittamoveden aiheuttama kiintoainekuormitus on alunperinkin pieni (11 %).

Flokkausaineena aluna olisi ferrikloridia parempi sikäli, että optimiannoksia käytettäessä ferrikloridi on 1.8 kertaa alunaa kalliimpaa ja värinpoisto on hieman huonompi kuin alunalla. Ferrikloridilla puolestaan saavutetaan suurempi  $\text{KMnO}_4$ -reduktio, ja syntyvä flokki on raskaampi ja laitteistolle suuremman kapasiteetin salliva. Käyttämällä Flockningslimiä flokkusapuaineena saadaan lisäksi kapasiteetti yli kaksinkertaiseksi, samalla kun kemikaalikustannukset kohoavat 1.4-kertaisiksi. Myös  $\text{KMnO}_4$ -reduktio kasvaa jonkin verran. Kalkki tuntuu laboratorio-kokeiden mukaan (vrt. taulukko 9) vaikuttavan vasta suhteettoman suurella annoksella, eikä kalkkisaostusta näin



ollen kokeiltu pilot-plant -mittakaavassa.

Tuloksissa kiinnittyy huomio erittäin pieniin saavutettuihin pintakuorman eli kapasiteetin arvoihin. Flokit raskaammiksi tekevien kemikaalien tai menetelmien kehittäminen olisi tarpeellista, sillä kapasiteetin kasvu pienentää investointikustannuksia lähes suorassa suhteessa.

## 8.2. Valkaisimon alkalivaiheen nollavesi

Alkalivaiheesta kanaaliin menevä nollavesi ei ole määrällisesti suuri, mutta pitoisuudet, varsinkin väri, ovat huomattavia. Sellutehtaan jätevesien  $\text{KMnO}_4$ -kulutus vähenisi kalkkisaostusta käytettäessä 6 % ja  $\text{BHT}_5$  ainoastaan 2 %. Värikuormitus sen sijaan pienenisi huomattavasti, n. 20 %. Tarkkaa reduktioarvoa ei voida ilmaista, koska tehtaan jätevesien analysointi värin suhteen oli puutteellinen ja värimittauksissa ei suoritettu näytteen neutralointia.

Optimiannoksia käytettäessä aluna ja kalkki ovat samanhintaisia. Jälkimmäisellä saavutetaan kuitenkin lähes kaksinkertainen laitteistokapasiteetti ja  $\text{KMnO}_4$ -reduktio.  $\text{BHT}_5$ -reduktio on myös suurempi kalkkia käytettäessä, mutta värireduktio on alunalla ja kalkilla samaa luokkaa.

Flockningslim nostaa kapasiteetin pelkkään alunakäsittelyyn verrattuna kaksinkertaiseksi. Kalkin kanssa käytettynä ei kapasiteetti nouse kovinkaan paljon ja  $\text{KMnO}_4$  ja

BHT<sub>5</sub>-reduktiot pienenevät johtuen ilmeisesti Flockningslimille sopimattomasta pH-alueesta.

### 8.3. Vaakaselkeyttimen ylijuuksu

Ylijuuksuveden alunasaostuksella vähennettäisiin kartonkitehtaan jätevesien KMnO<sub>4</sub>-kulutusta 14 % ja BHT<sub>5</sub>:ta 18 %. Kiintoainekuormitus vähenisi 23 %. Flockningslim nostaisi kapasiteetin 1.5-kertaiseksi, mutta kemikaalikustannukset nousisivat 2.2-kertaisiksi.

### 8.4. Vaakaselkeyttimelle tuleva vesi

Vaakaselkeyttimelle tulevalle vedelle ja ylijuuksuvedelle saadut kapasiteetti-arvot ovat samaa luokkaa. Samanlaisena toteutettu mekaaninen ja kemiallinen puhdistus vaatisi n. 35 % suuremman aluna-annoksen kuin erillisenä suoritettut käsittelyt. Flokkausapuainetta käytettäessä kapasiteetti kasvaisi vain 14 %, kun taas kemikaalikustannukset nousisivat kaksinkertaisiksi.

### 8.5. Kuorimon jätevesi

Tutkitun kuorisihtialtaan veden kemiallinen puhdistus ei juuri vähentäisi sellutehtaan jätevesien KMnO<sub>4</sub>-kulutusta

ja BHT<sub>5</sub>:ta, koska vedessä ei ole paljon liuennutta aines-  
ta kierrätyksen puuttuessa. Kiintoainekuormitus sen  
sijaan pienenisi 32 %.



## 9. LOPPUTARKASTELU

Selluloosatehtaiden jätevesien kemiallinen puhdistus ei liene aivan ensimmäisenä vesiensuojeluviranomaisten vaatimuslistalla. Erilaisia prosessitekknisiä toimenpiteitä ja mekaaninen puhdistus yritetään ensin saada toteutetuiksi. Sen jälkeen saattaa tulla kysymykseen eräiden jätevesijakeiden kemiallinen puhdistus ja mahdollisesti biologinen puhdistus siihen soveltuville jätevesijakeille. Diplomityön tarkoituksena oli selvittää alustavasti kemiallisen puhdistuksen mahdollisuuksia sulfaattisellutehtaassa. Tulosten perusteella voitaisiin ehdottaa esimerkiksi seuraavanlaista kemiallisen puhdistuksen toteutusta Tainionkosken tehtailla.

Lajittamoveden kierrätystä lisätään niin paljon kuin se prosessin häiriöttömyyden ja tuotteen laadun kannalta on mahdollista. Tällöin viemäriin menevän lajittamoveden määrä pienenee ja pitoisuudet kasvavat, joten puhdistuslaitoksen investointikustannukset laskevat. Flokkausainetarve kasvaa vastaavasti, joten kemikaalikustannukset pysyvät muuttumattomina. Lajittamoveden puhdistus tuntuu koetulosten valossa melko epärealistiselta pienten pinta-kuormien ja suuren jätevesimäärän takia, jollei näissä kohdin saada parannusta aikaan. Lajittamoveden pitoisuuksia voidaan luonnollisesti alun perin pienentää pesua tehostamalla, jolloin lajittamojäteveden kemiallinen puhdistus saattaa muodostua tarpeettomaksi. Pesun tehostaminen

vaatii huomattavia investointikustannuksia lähinnä lisäpesureiden tai kokonaan uuden pesulinjan muodossa.

Toteutetaan kuorimovesien kierrätys, jolloin kiintoaineen poisto suoritetaan esimerkiksi laskeutusaltaassa. Valkaisimon alkalivaiheen jätevesi pumpataan kuorimolle ja sekoitetaan kuorimovesiin pH:n kohottamiseksi. Kierron ylijuuksulle voidaan toteuttaa kalkkisaostus esim.

Massive lime - tai jollain muulla kirjallisuusosassa esitellyllä menetelmällä, jossa kalkki regeneroidaan ja lietteen orgaaninen osa käytetään hyväksi polttamalla.

Kartonkitehtaan jätevesien kemiallinen puhdistus tuskin tulee olemaan tarpeellista, sillä jos sellun pesua tehostetaan, kartonkitehtaalle pumpattavan massan liuenneitten aineitten pitoisuus pienenee.

Edellä mainitut toimenpiteet pienentäisivät sellutehtaan jätevesien aiheuttamaa kuormitusta  $\text{BHT}_5$ :n osalta kuudesosalla nykyisestä,  $\text{KMnO}_4$ :n osalta kolmasosalla ja värin osalta kolmanteen osaan nykyisestä. Suuren osan  $\text{BHT}_5$ -kuormituksesta muodostavat erilaiset lauhteet, joihin kemiallinen puhdistus ei tehoa. Paitsi alkalivettä, voidaan myös muita valkaisimojätevesiä puhdistaa kemiallisesti. Puhdistamisen helpottamiseksi olisi näitä vesiä kierrätettävä mahdollisimman paljon.

Mikäli lajittamojäteveden kemiallinen puhdistus toteutetaan, on myös syntävä liete käytettävä hyväksi tai hävitettävä. Sitä voitaisiin käyttää linerkartongin keskikerroksissa, jos suotautumisominaisuudet saadaan paremmiksi. Liette voidaan myös sakeuttaa ja käyttää täyte-  
maana tai ajaa kaatopaikalle. Viimeksi mainitut mahdollisuudet nostavat kuitenkin huomattavasti kemiallisen puhdistuksen kustannuksia.



IV KIRJALLISUUS

- ANON. 1967 Barker effluent best treated by coagulants.  
Canadian Pulp and Paper Industry 20:11, 76-77.
- ANON. 1969 Massive Color Removal System Being Constructed by International Paper Company.  
Southern Pulp and Paper Manufacturer 32:4, 26, 29-30.
- ANON. 1970 Vesiensuojelupoliittinen ohjelma.  
Suomen Puunjalostusteollisuuden Keskusliitto, Helsinki, 16 s.
- ANON. 1971 Dosering med kalk för avfärgning av tvättvatten från massafabriker.  
Svensk Papperstidning 74:9, 289.
- APHA 1955 Oxygen, Biochemical Demand. Dilution Method for Sewage. Standard Methods for the Examination of Water, Sewage, and Industrial Wastes.  
American Public Health Association, Inc., New York, s. 260-267.

BERGER 1968 A Chemical-Physical Wastewater Renovation Process for Kraft Pulp and Paper Wastes.

et. al.

The Journal of the Water Pollution Control Federation 40:9, 1575-81.

CLARKE 1969 Color Removal from Kraft Mill Bleachery Waste of the Chlorination Stage.

et al.

Tappi 52:10, 1923-27.

DEUTSCHE 1968 Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs.  
Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung.  
Verlag Chemie, Weinheim, s. H5/1-H5/22.

ECKENFELDER 1970 Water Quality Engineering for Practicing Engineers.  
Barnes & Noble, Inc., New York, s. 280-288.

EVILEVIČ 1970 Resultat som erhållits enligt det för  
et al. Bajkal'sk massafabrik uppgjorda för-  
farandet för fullständig rening av  
avloppsvatten.

VNIIB, Sbornik Trudov 57, 102-112

- GEHM 1971 Colour Reduction fo Waste Water from Kraft Pulp Mills.  
International Congress on Industrial Waste Water, Stockholm, 12 s..
- GOULD 1971 Lime-Based Process Helps Decolor Kraft Wastewater.  
Chemical Engineering 78:2, 55-57.
- HAGEL 1967 Restabwasser in der Papierindustrie.  
Passavant-Werke, Michelbacher Hütte, 5 s.
- KCL 90:65 1965 Oy Keskuslaboratorio-Centrallaboratorium Ab, Keskuslaboratorion käyttämät analyysimenetelmät n:o 90:65: Veden kaliumpermanganaatin kulutus, 3 s.
- KINZNER 1964 Reinigung von Abwässern der Nassent-rindung durch Flockung.  
Zellstoff und Papier 13:6, 181-184.
- KOISTINEN 1971 Laboratoriotuloksia. ✓
- LAASONEN 1971 Ympäristönsuojelu-puunjalostus.  
Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, julkaisu 13-71, Helsinki, XXVII/1-38.

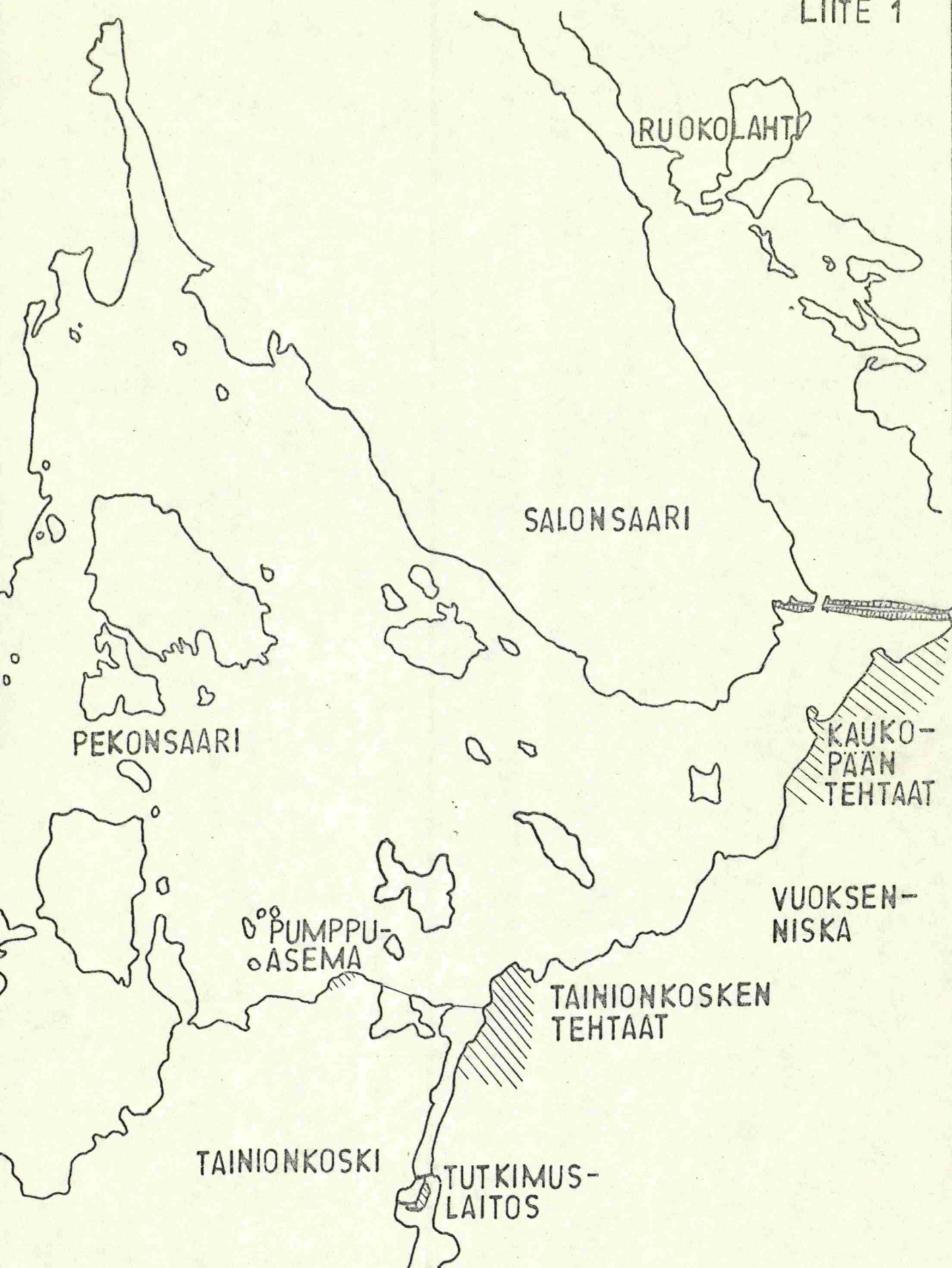


- MAKINO 1966 Method for Decoloring Treatment of  
et al. Kraft Pulping Waste.  
J. Jap. Tappi 20:12, 676-680.  
Ref. ABIPC 38:4525.
- MANUAL 1968 Zeta-Meter Manual.  
Zeta-Meter Inc., New York, 133 s.
- McGLASSON 1966 Potential Uses of Activated Carbon  
et al. for Wastewater Renovation.  
Tappi 49:12, 521-526.
- MIETINTÖ 1968 Vesianalyysitoimikunnan mietintö,  
Komiteanmietintö 1968:B 19.  
Maataloushallitus, Helsinki s. 8.1.-8.7.
- MIETINTÖ 1970 Etelä-Saimaan jätevesikomitean mietintö,  
Komiteanmietintö 1970: B 85.  
Helsinki, 124 s.
- NCASI 1970 The Mechanism of Color Removal in the  
Treatment of Pulping and Bleaching Ef-  
fluents with Lime, I. Treatment of Caus-  
tic Extraction Stage Bleaching Effluent.  
National Council of Air and Stream Im-  
provement, Technical Bulletin No. 239,  
52 s.

- NEVALAINEN 1971 Haastattelu. ✓
- NOUKKA 1970 Puunjalostusteollisuuden jätevesien kuormitus vesistöissä ja sen keventämismahdollisuudet.  
Vesiensuojelutoimiston tiedonantoja No 54.  
Maataloushallitus, Helsinki, 54 s.
- OLIN 1969 How Interstate Paper lowers color and BOD in kraft mill wastes.  
Paper Trade Journal 153:31, 30-33.
- ORIVUORI 1969 Puunjalostusteollisuutemme vesitalouden et al. nykytilanne ja sen parantamismahdollisuudet.  
Paperi ja Puu 51:1, 47-50.
- RIDDICK 1964 Role of the Zeta Potential in Coagulation Involving Hydrous Oxides.  
Tappi 47:1, 171A-179A.
- SMITH 1968 Further studies on pulp and mill wastewater renovation.  
Paper Trade Journal 152:16, 48, 51.

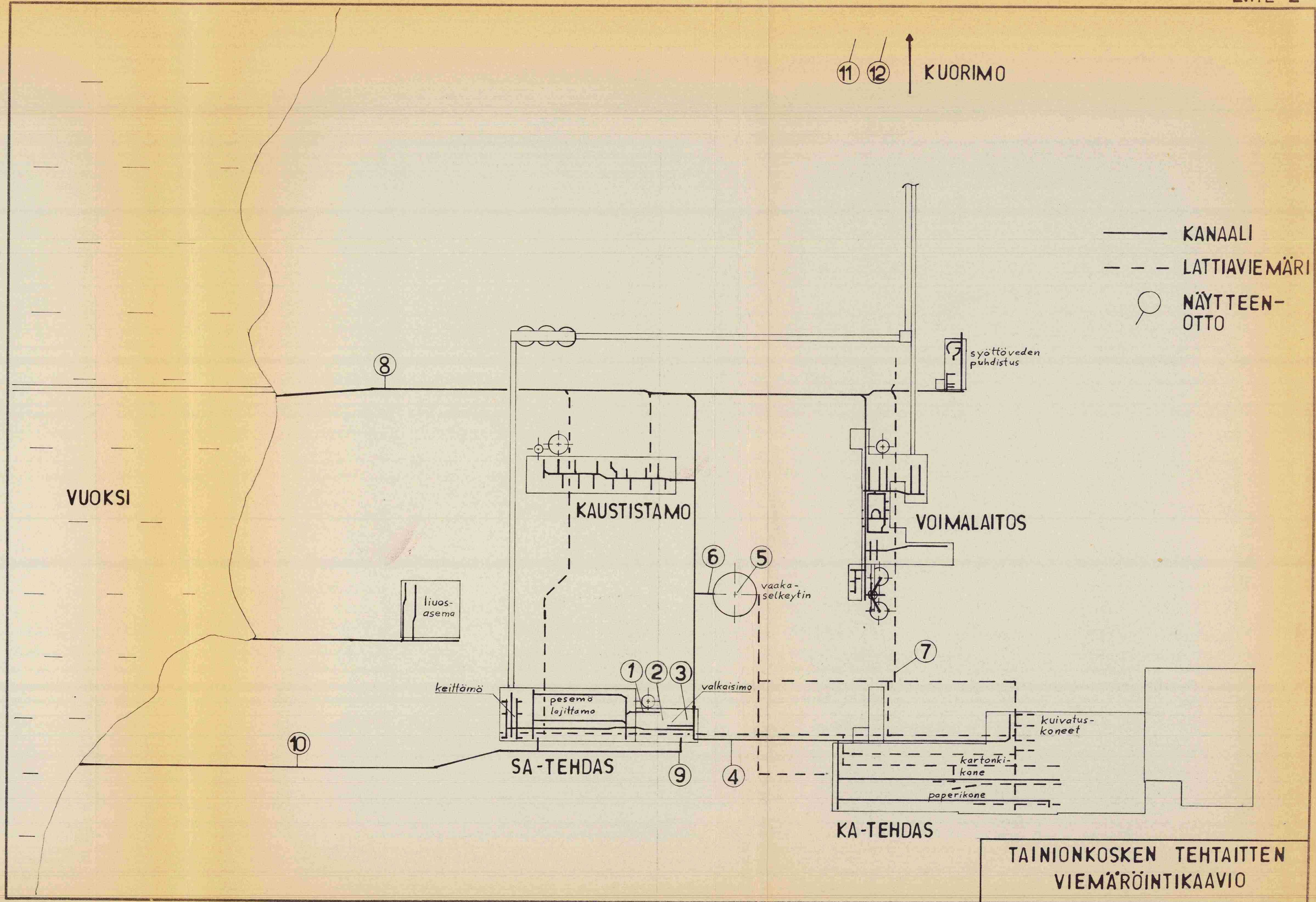




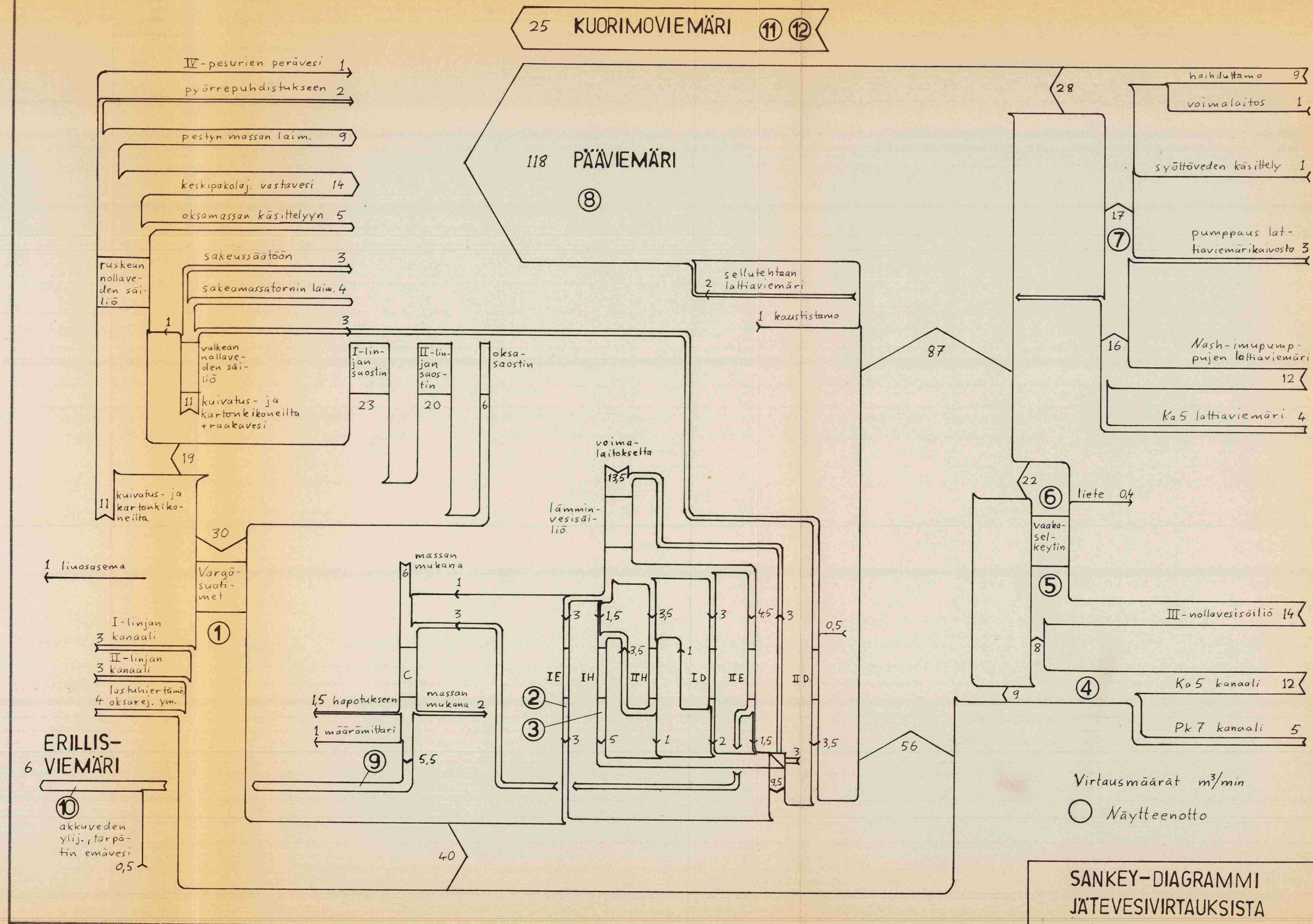


SAIMAAN VESISTÖ TAINIONKOS-  
KEN TEHTAITTEN EDUSTALLA

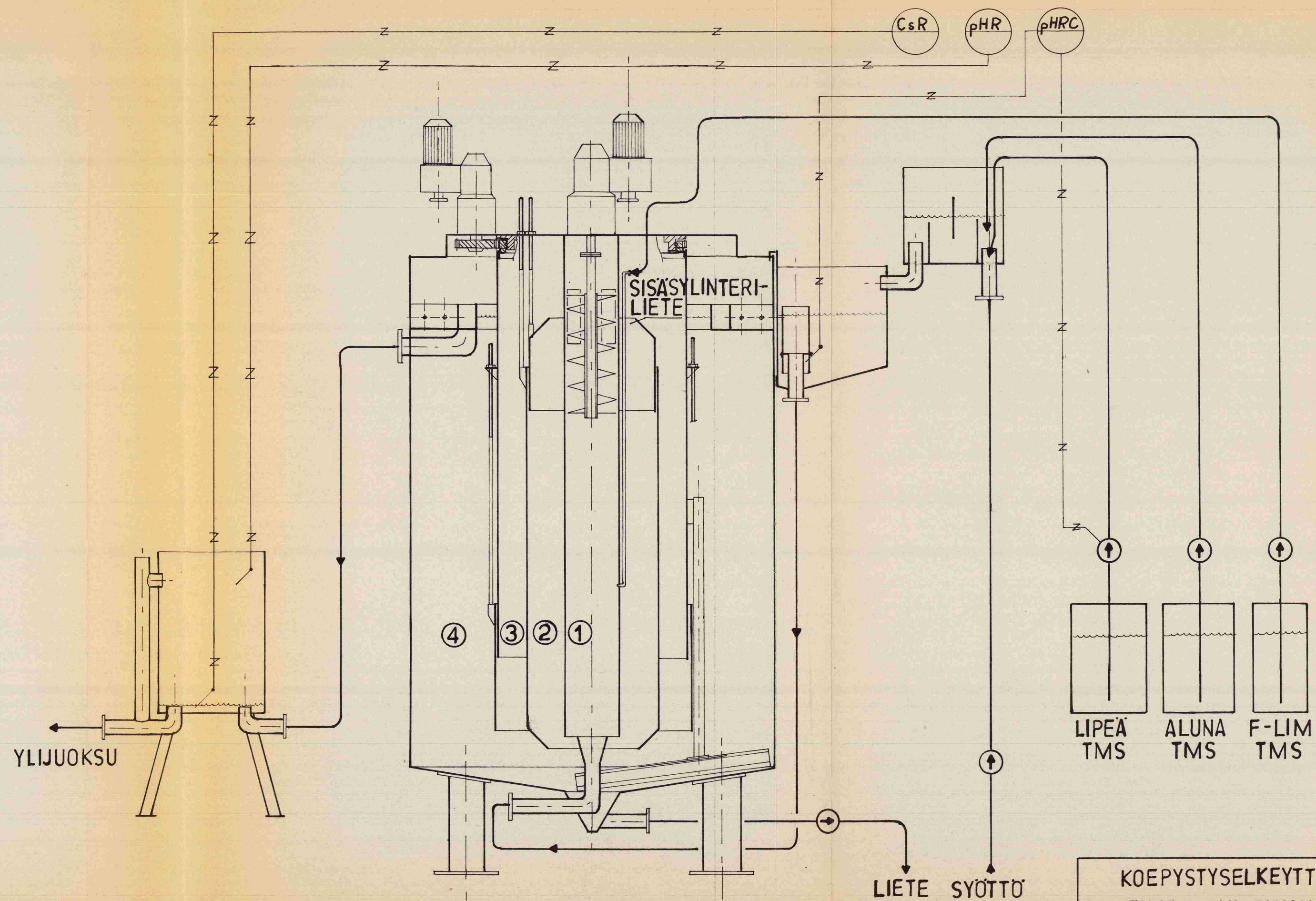






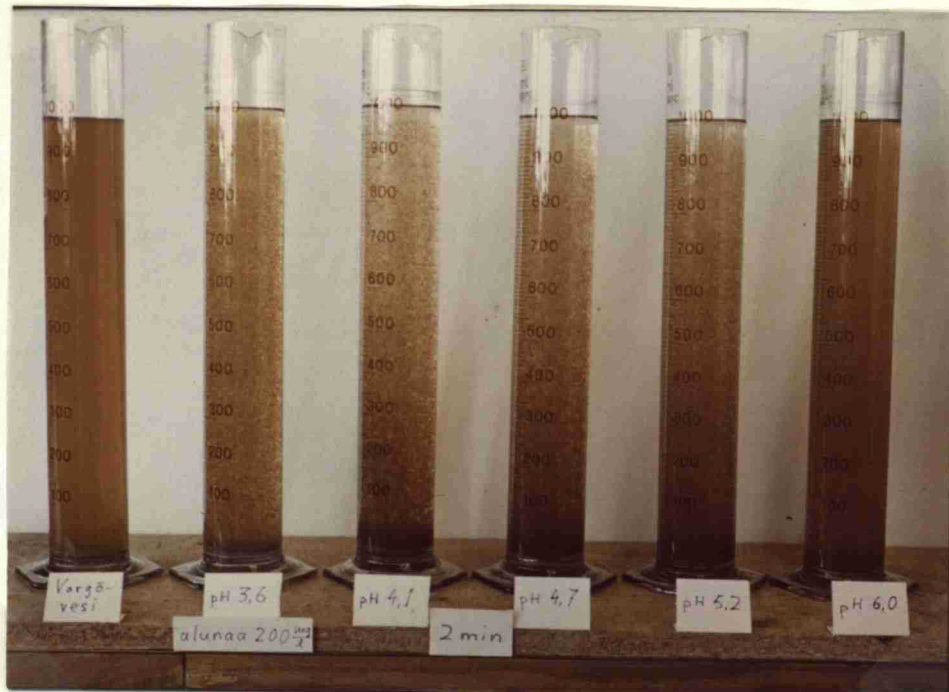




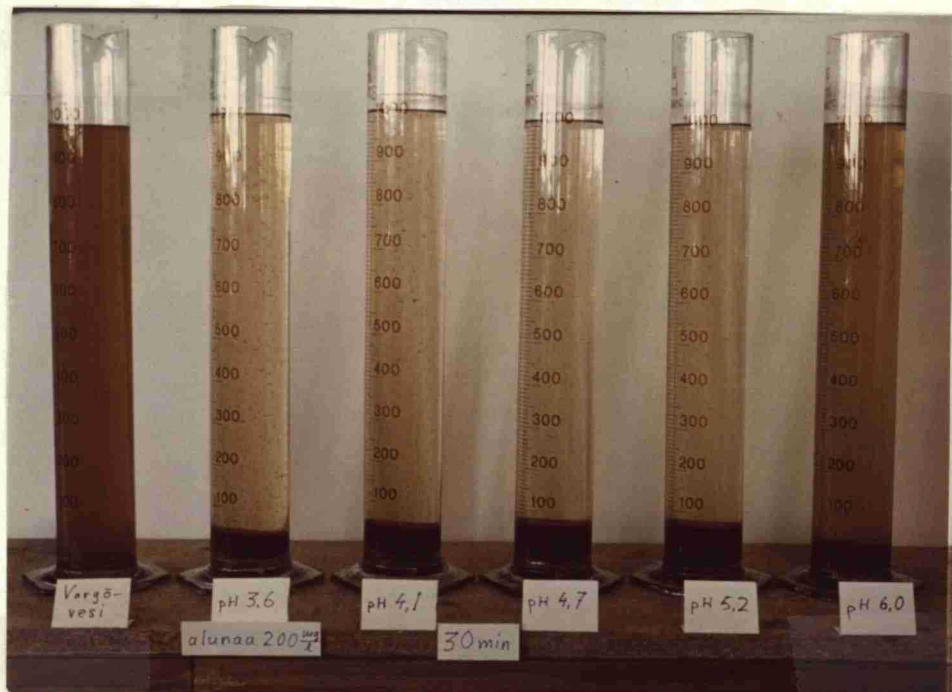




Valokuvia laboratoriokokeista: pH:n vaikutus

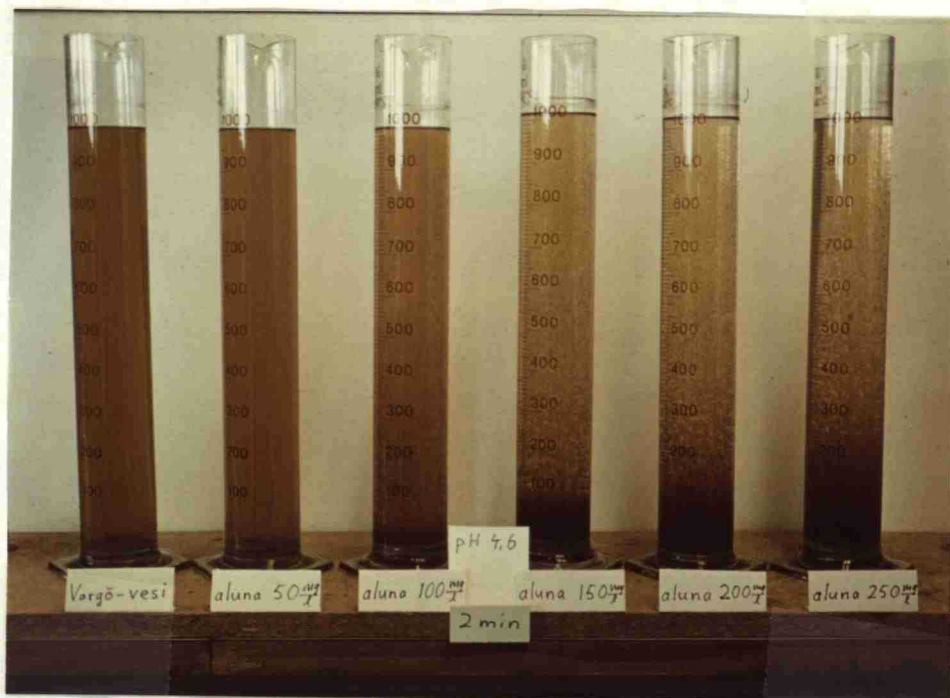


2 min:n laskeutus

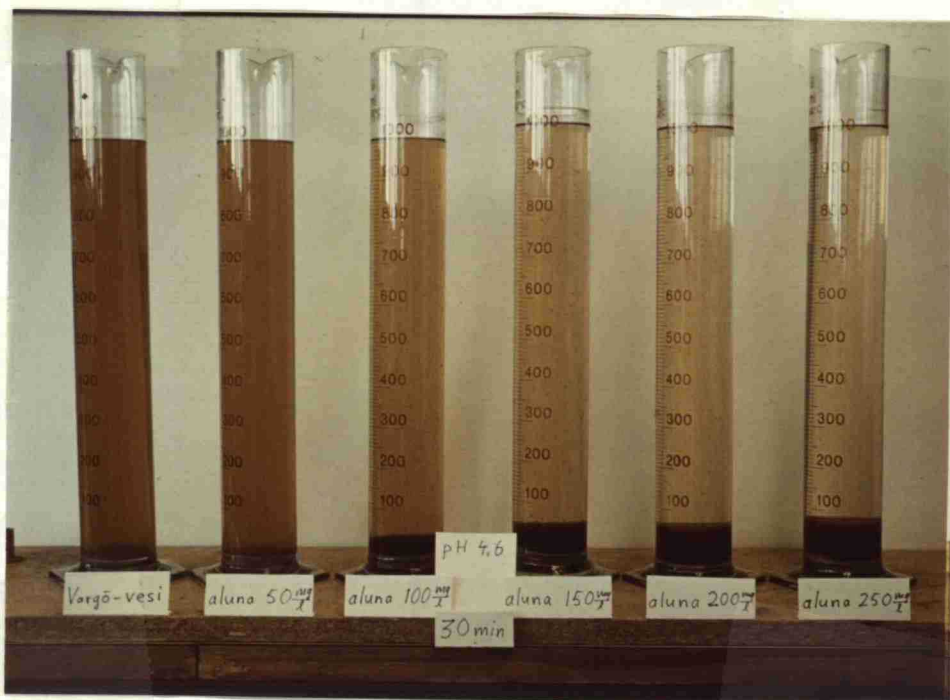


30 min:n laskeutus

Valokuvia laboratoriokokeista: kemikaaliannoksen vaikutus



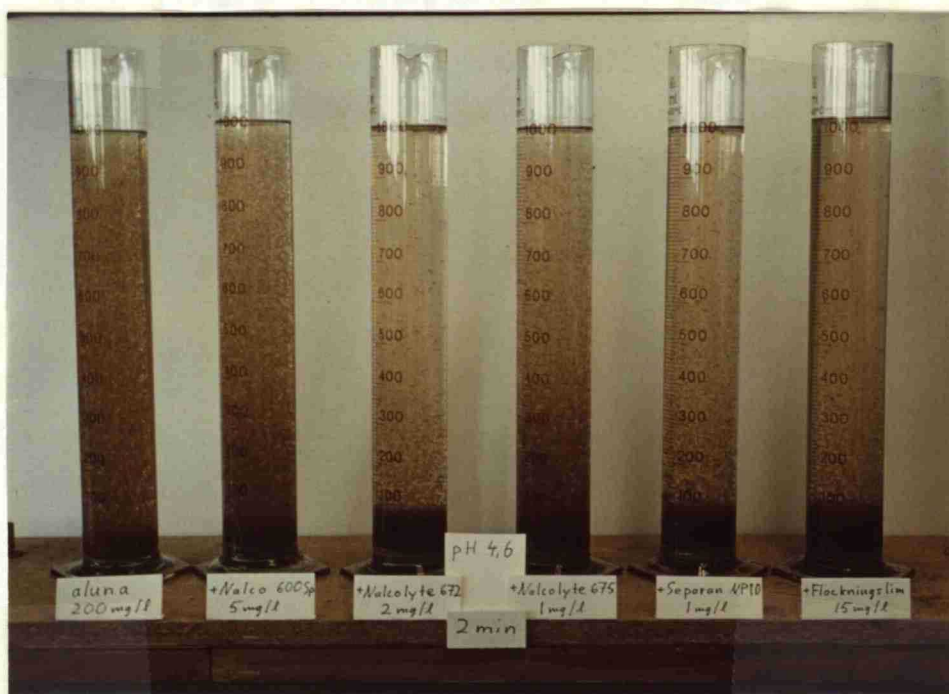
2 min:n laskeutus



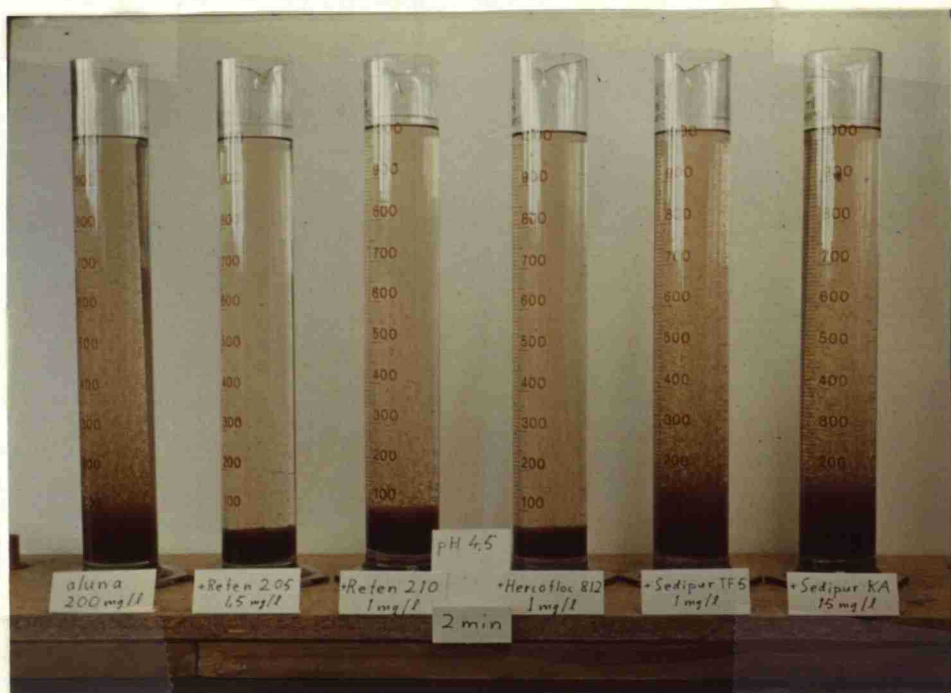
30 min:n laskeutus



Valokuvia laboratoriokokeista: flokkausapuaineen vaikutus



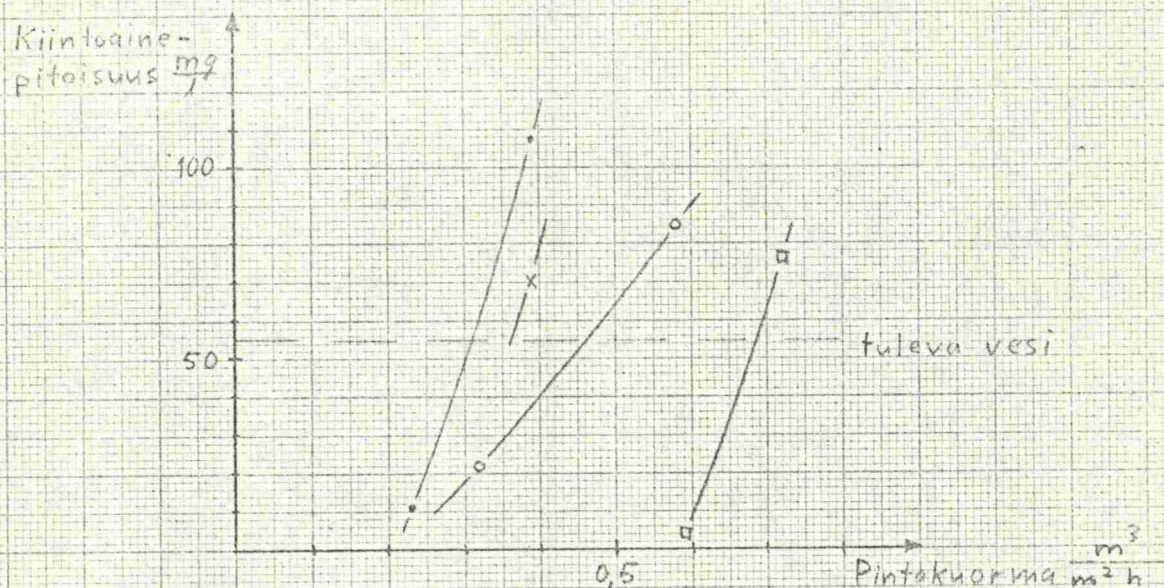
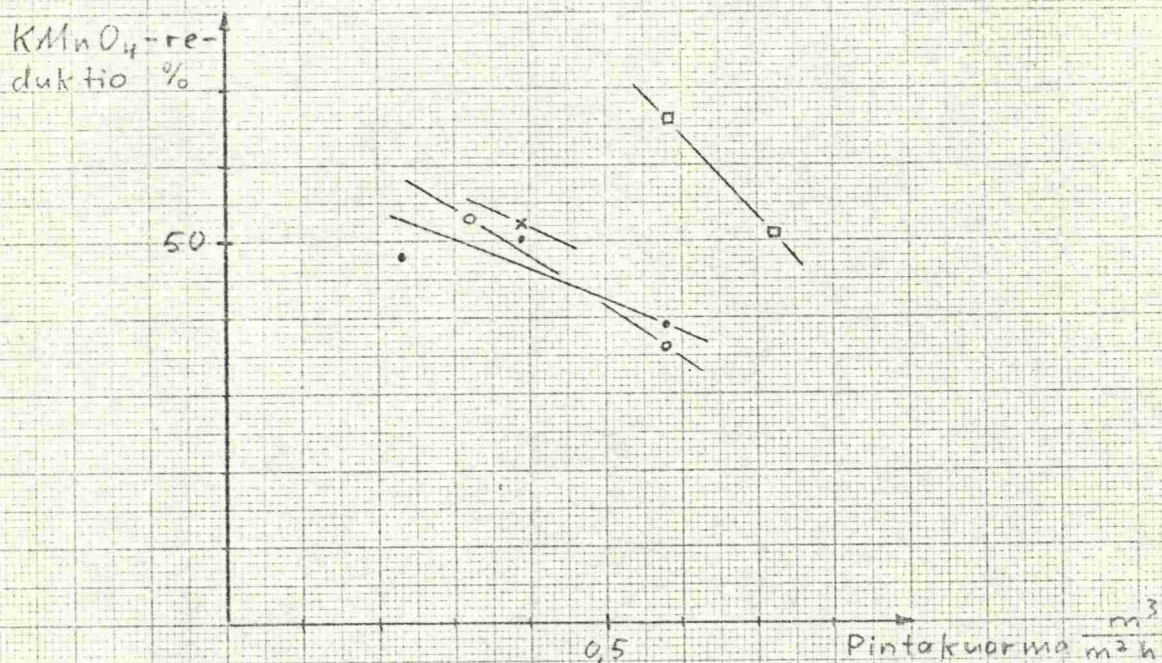
2 min:n laskeutus



2 min:n laskeutus



## SELKEYTYSKOKKEET VARGÖ-VEDELLÄ

Ylijoksuksen kiintoainepitoisuus pintakuorman  
funktiona $KMnO_4$ -reduktio pintakuorman funktiona



# SELKEYTYSKUKEET VALKAISIMON ALKALI- VAIHEEN MOLLAVEDELLÄ

Ylijuoksun kiintoainepitoisuus pintakuorman funktiona



- aluna  $500 \frac{mg}{l}$
- x " " + Flockningslim  $15 \frac{mg}{l}$
- kalkki  $1000 \frac{mg}{l}$
- " " + Flockningslim  $15 \frac{mg}{l}$

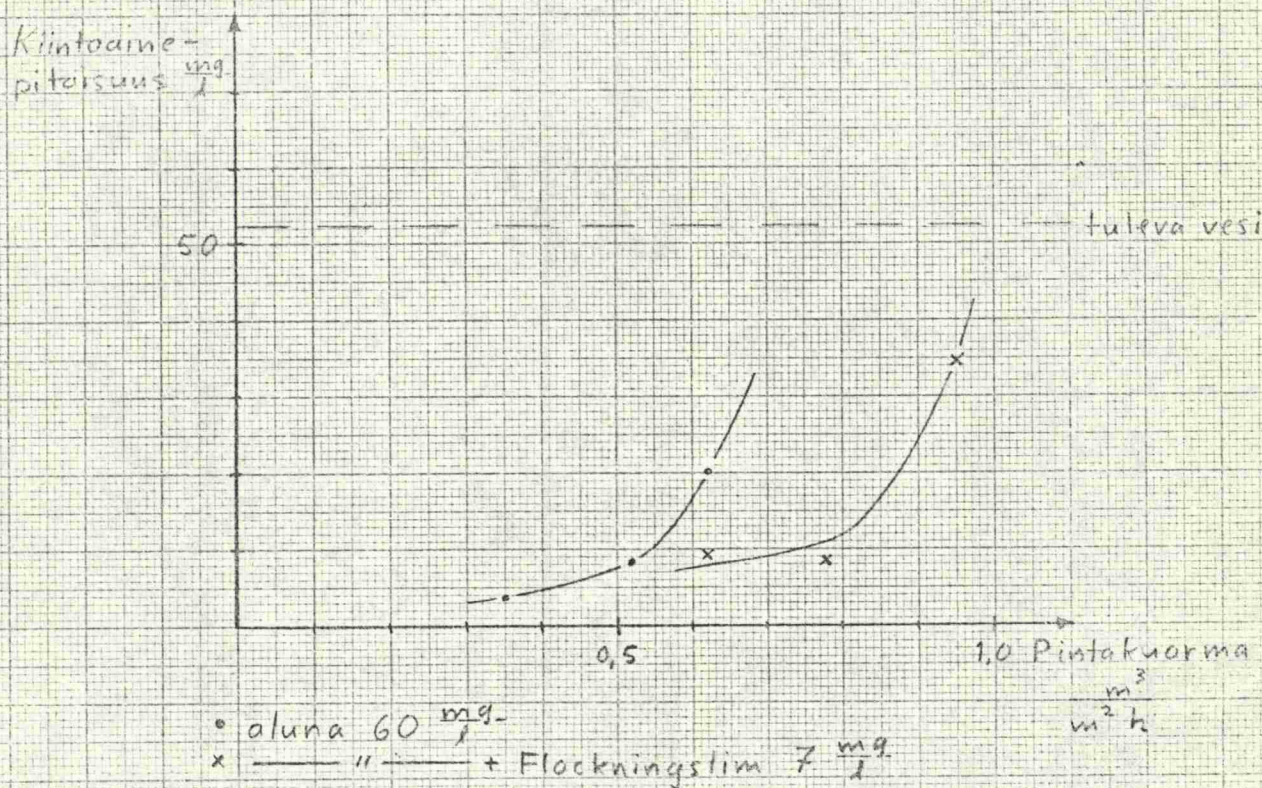
KMnO<sub>4</sub>-reduktio pintakuorman funktiona



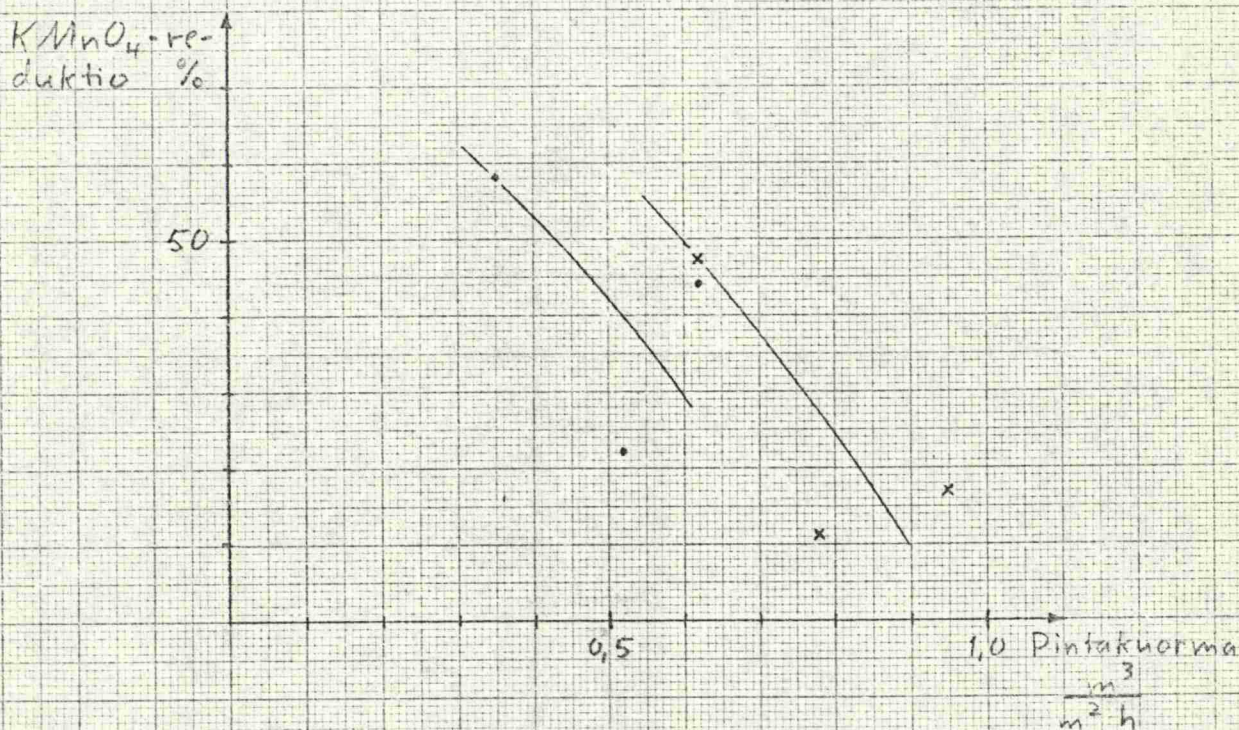


# SILKEYTYSKOKEET VAAKASELKEYTTIMEN YLIJUOKSUVEDELLÄ

Ylijuoksun kiintoainepitoisuus pintakuorman funktiona



KMnO<sub>4</sub>-reduktio pintakuorman funktiona





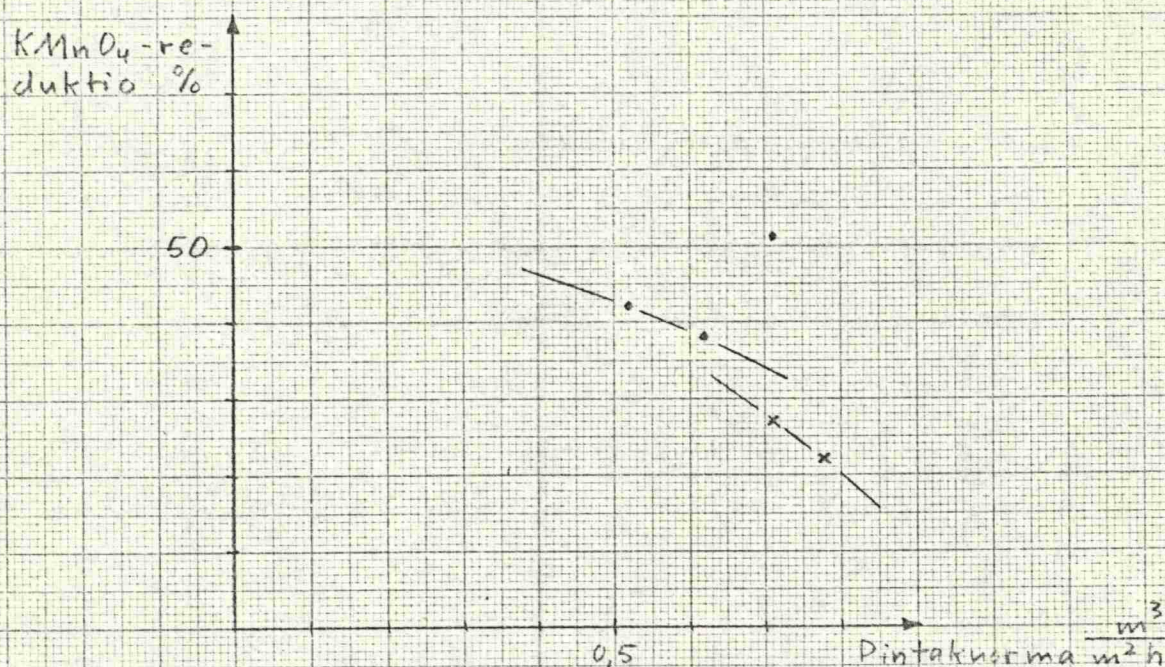
# SELKEYTYSKOKEET VAAKASELKEYTTIMELLE TULEVALLA VEDELLÄ

Ylijucksun kiintoainepitoisuus pintakuorman funktiona



• aluna  $80 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$   
x " " + Flockningslim  $7 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$

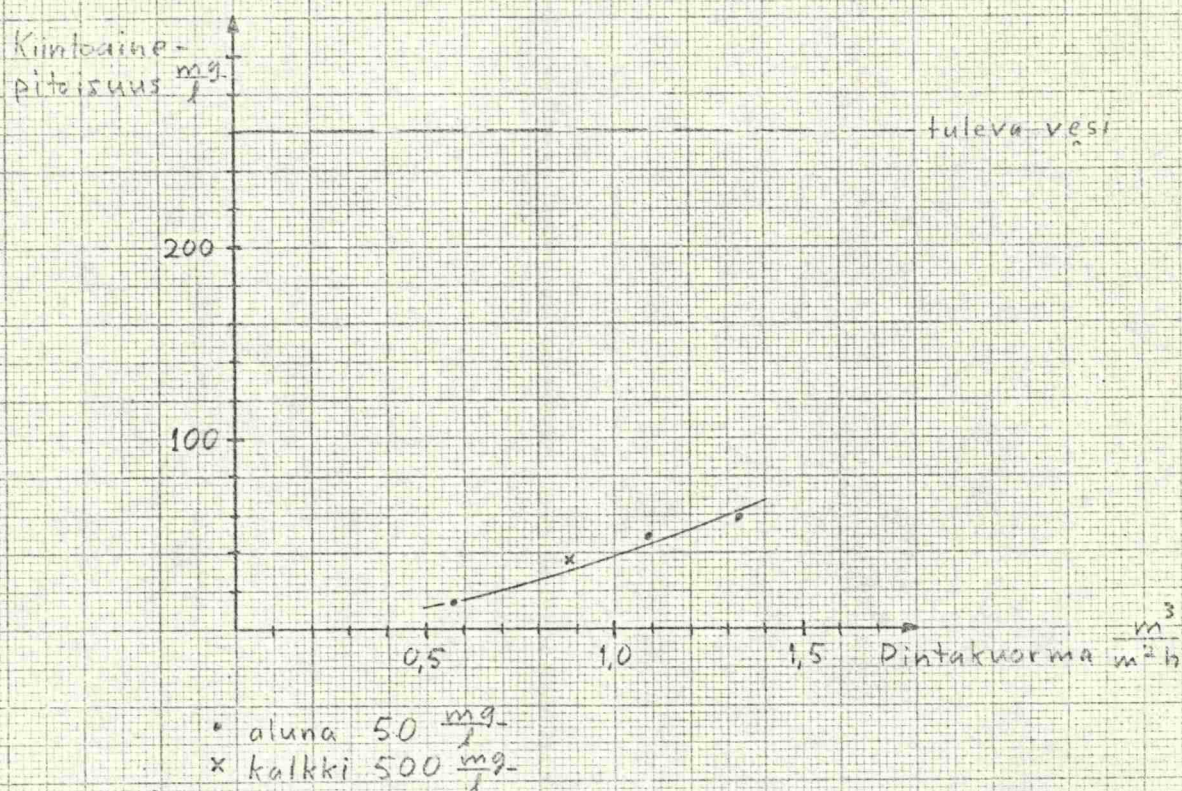
KMnO<sub>4</sub>-reduktio pintakuorman funktiona





# SELKEYTYSKOEET KUORIMON KUORISUODIN- ALTAAN VEDELLÄ

Ylijauksen kiintoainepitoisuus pintakuorman funktiona



$KMnO_4$ -reduktio pintakuorman funktiona

